

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI *BORED PILE* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PADA PROYEK JALAN FLY OVER JAMIN GINTING

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

IBNU HAJAR
1307210296



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ibnu Hajar

NPM : 1307210296

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perbandingan analisa daya dukung dan penurunan pondasi bored pile dengan metode elemen hingga pada proyek jalan fly over jamin ginting.

Bidang ilmu : Geoteknik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 07 Februari 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji



Ir. Zurkiyah, M.T

Dosen Pembimbing I / Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain ST.MSc

Dosen Pembimbing II/Penguji



Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain ST.MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ibnu Hajar

Tempat /Tanggal Lahir : Tumpatan Nibung / 11 Juli 1993

NPM : 1307210296

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Perbandingan analisa daya dukung dan penurunan pondasi bored pile dengan metode elemen hingga pada proyek jalan fly over jamin ginting”,

bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 07 Februari 2019

Saya yang menyatakan,



Ibnu Hajar

ABSTRAK

PERBANDINGAN ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI *BORED PILE* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PADA PROYEK JALAN FLY OVER JAMIN GINTING

Ibnu Hajar

1307210296

M. Husin Gultom, ST, MT

Ir. Zurkiyah, M.T

Pondasi adalah suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada tanah dan batuan yang terletak dibawahnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya dukung dan penurunan yang terjadi pada pondasi. Pada penelitian ini digunakan metode analitis dan metode elemen hingga menggunakan bantuan program analisis yang kemudian dibandingkan dengan data hasil *loading test*. Berdasarkan data *Standard penetration test* (SPT), parameter kuat geser tanah dan data pengujian *loading test* yang diperoleh dan dihitung dengan beberapa metode diperoleh hasil perhitungan untuk data *Standard penetration test* (SPT) dengan menggunakan metode Reese and O'Neil pada titik BH-1 $Q_u = 302,7$ ton, BH-2 $Q_u = 319,8$ ton, BH-3 $Q_u = 370,6$ ton, BH-4 $Q_u = 310,6$ ton, BH-5 $Q_u = 407,8$ ton. Untuk parameter kuat geser tanah menggunakan metode elemen hingga pada titik BH-1 $Q_u = 329,5$ ton, BH-2 $Q_u = 360,3$ ton, BH-3 $Q_u = 331,7$ ton, BH-4 $Q_u = 425,9$ ton, BH-5 $Q_u = 402,6$. Untuk penurunan tiang tunggal dihitung menggunakan metode Poulos dan Davis dengan beban 600 ton untuk titik BH-1 $S = 4,43$ mm, titik BH-2 $S = 4,92$ mm, titik BH-3 $S = 4,22$ mm, titik BH-4 $S = 4,62$ mm, titik BH-5 $S = 5,98$ mm. Dengan metode elemen hingga titik BH-1 $S = 9,33$ mm, titik BH-2 $S = 6,27$ mm dan titik BH-3 $S = 8,43$ mm, BH-4 $S = 8,11$ mm, BH-5 $S = 6,36$ mm..

Kata kunci: Daya dukung, *Bored pile*, Penurunan, Reese and O'neil.

ABSTRACT

COMPARISON OF CARRYING CAPACITY ANALYSIS AND DECREASE IN BORED PILE WITH ELEMENHINGGA METHODS ON PROJECT FLY OVER JAMIN GINTING

Ibnu Hajar

1307210296

M. Husin Gultom, ST, MT

Ir. Zurkiyah, M.T

The foundation is part of an engineered system that forwards the load supported by the foundation and its own weight to the ground and the rocks located beneath it. This study aims to determine the bearing capacity and to know the settlement in the foundation. In this research used analytical method and finite element method using analysis program aid which then compared with result of loading test. Soil shear strength parameters and static loading statements obtained and calculated by several methods obtained calculation results for Standard penetration test (SPT) report using Resse and oniel method at the point BH-1 $Q_u = 302,7$ ton, BH-2 $Q_u = 319,8$ ton, BH-3 $Q_u = 370,6$ ton, BH-4 $= 310,6$ ton, BH-5 $= 407,8$. For the shear strength parameters use the analysis program at the point BH-1 $Q_u = 329,5$ ton, BH-2 $Q_u = 360,3$ ton, BH-3 $Q_u = 331,7$ ton, BH-4 $= 4,62$ ton, BH-5 $= 5,98$ ton. For a single pile settlement is calculated using Poulos and Davis methods with a 600 ton load for the point BH-1 $S = 9,33$ mm, BH-2 $S = 6,27$ mm, BH-3 $S = 8,43$ mm, BH-4 $S = 8,11$ mm, BH-5 $S = 6,36$ mm.

Keywords: Bearing capacity, bored pile, settlement, Reese and O'neil..

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perbandingan analisa daya dukung dan penurunan pondasi *bored pile* dengan metode elemen hingga pada proyek jalan fly over jamin ginting” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ir. Zurkiyah, M.T, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak selaku Dosen Pembanding 1 dan penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan memasukan kepada penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak selaku dosen pembanding II dan penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan msukan kepada penulis dalam menyeesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain ST. MSc selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Ade Faisal, ST, MT, selaku wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipil kepada penulis.
8. Ibu saya yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan kasih sayang yang sangat besar kepada saya serta senantiasa selalu mendoakan saya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Agung Trisna, Erry Prasetyo, Zakaria Fadhil, kelas Geoteknik Malam dan seluruh angkatan 2013 yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 7 Februari 2018

Ibnu Hajar

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat Penulisan	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Umum	5
2.2. Tanah	5
2.2.1. Komposisi Tanah	5
2.3. Penyelidikan Tanah (<i>soil Ivestigation</i>)	7
2.3.1. Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (<i>sondir</i>)	8
2.3.2. Pengujian Penetrasi Standar (SPT)	9
2.4. Pondasi	12
2.4.1. Pengertian Pondasi Tiang Bor	16
2.4.2. Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor	18
2.4.3. Penggalian Lubang	18
2.4.4. Pembersihan Dasar Lubang	21
	60

2.4.5. Pemasangan Tulangan	21
2.4.6. Pengecoran Beton	22
2.5. Parameter Tanah	22
2.6. Kapasitas Daya Dukung	28
2.6.1. Tiang Dukung Ujung Dan Tiang Gesek	28
2.6.2. Kapasitas Daya Dukung Pondasi <i>Bored Pile</i> dari data N SPT	29
2.7. Faktor Keamanan	31
2.8. Penurunan Elastis Tiang Tunggal	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Metode Penelitian	35
3.2. Data Umum Proyek	36
3.3. Lokasi Titik Pengeboran	37
3.4. Pengumpulan Data	37
3.5. Analisis Data Tanah	37
3.6. Analisis Parameter Tanah	40
3.7. Menghitung Daya Dukung Dengan Metode Elemen Hingga	47
3.7.1. Pemodelan Geometri	47
3.7.2. Kondisi Batas	47
3.7.3. Input Parameter Tanah	48
3.7.4. Penyusunan Jaring Elemen (<i>Meshing</i>)	49
3.7.5. Kondisi Awal (<i>Initial Condition</i>)	49
3.7.6. Kalkulasi	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Menghitung Kapasitas Daya Dukung Dengan Data SPT	51
4.1.1. Perhitungan Pada Titik BH-1	51
4.1.2. Perhitungan Pada Titik BH-2	54
4.1.3. Perhitungan Pada Titik BH-3	57
4.1.4. Perhitungan Pada Titik BH-4	60
4.1.5. Perhitungan Pada Titik BH-5	63
4.2. Perhitungan Penurunan elastis (settlement)	66
4.2.1. Penurunan Pada Titik BH-1	66
	61

4.2.2. Penurunan Pada Titik BH-2	68
4.2.3. Penurunan Pada Titik BH-3	70
4.2.4. Penurunan Pada Titik BH-4	72
4.2.5. Penurunan Pada Titik BH-5	74
4.3. Hasil Program Analisis	76
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas pada tanah lempung	23
Tabel 2.2	Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas pada tanah pasir	24
Tabel 2.3	Hubungan Jenis Tanah dan poisson ratio	24
Tabel 2.4	Hubungan jenis tanah dengan berat isi tanah kering	25
Tabel 2.5	Korelasi nilai berat isi dengan N-SPT pada tanah lempung	25
Tabel 2.6	Korelasi nilai berat isi dengan N-SPT pada tanah pasir	26
Tabel 2.7	Nilai koefisien <i>permeabilitas</i> tanah	27
Tabel 2.8	Parameter rencana tiang tanah kohesif	27
Tabel 2.9	Parameter rencana tiang untuk tanah non kohesif	28
Tabel 2.10	Hubungan dari ϕ dan N dari pasir	29
Tabel 2.11	Faktor keamanan untuk pondasi tiang	32
Tabel 2.12	Nilai umum modulus elastisitas tanah	34
Tabel 3.1	Data hasil pengeboran (BH 1)	38
Tabel 3.2	Data hasil pengeboran (BH 2)	38
Tabel 3.3	Data hasil pengeboran (BH 3)	39
Tabel 3.4	Data hasil pengeboran (BH 4)	39
Tabel 3.5	Data hasil pengeboran (BH 5)	40
Tabel 3.6	Parameter Tanah BH-1	42
Tabel 3.7	Parameter Tanah BH-2	43
Tabel 3.8	Parameter Tanah BH-3	44
Tabel 3.9	Parameter Tanah BH-4	45
Tabel 3.10	Parameter Tanah BH-5	46
Tabel 4.1	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT BH-1	53
Tabel 4.2	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT BH-2	56
Tabel 4.3	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT BH-3	59
Tabel 4.4	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT BH-4	62
Tabel 4.5	Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT BH-5	65
Tabel 4.6	Perbandingan daya dukung ultimate	79
Tabel 4.7	Perbandingan penurunan tiang	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur (Das, 1995)	6
Gambar 2.2	Rincian konus ganda	8
Gambar 2.3	Pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008)	10
Gambar 2.4	Skema urutan pengujian penetrasi standar	11
Gambar 2.5	Macam-macam <i>type</i> pondasi	12
Gambar 2.6	Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi cukup dangkal	15
Gambar 2.7	Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah	15
Gambar 2.8	Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah	15
Gambar 2.9	Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah	16
Gambar 2.10	<i>Overbreak</i> diameter lubang bor akibat longsoran tanah	20
Gambar 2.11	Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya	28
Gambar 2.12	Variasi jenis bentuk unit tahanan friksi alami terdistribusi sepanjang tiang tertahan ke dalam tanah	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.2	Denah Lokasi Proyek pembangunan Fly over simpang pos medan	36
Gambar 3.3	Lokasi titik pengeboran BH-1 dan BH-5	37
Gambar 3.4	Pemodelan geometri pada program analisis	47
Gambar 3.5	Penetapan kondisi batas pada geometri	48
Gambar 3.6	Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb	48
Gambar 3.7	Penyusunan jaring mesh	49
Gambar 3.8	Hasil perhitungan <i>initial stresses</i>	49
Gambar 3.9	Tahapan perhitungan	50
Gambar 4.1	Grafik daya dukung Ressee and O'Neil, (1999) pada BH-1	54
Gambar 4.2	Grafik daya dukung Ressee and O'Neil, (1999) pada BH-2	56
Gambar 4.3	Grafik daya dukung Ressee and O'Neil, (1999) pada BH-3	59
Gambar 4.4	Grafik daya dukung Ressee and O'Neil, (1999) pada BH-4	63
Gambar 4.5	Grafik daya dukung Ressee and O'Neil, (1999) pada BH-5	66

Gambar 4.6	Penurunan pada titik BH-1	76
Gambar 4.7	Penurunan pada titik BH-2	77
Gambar 4.8	Kurva perbandingan Penurunan Pada titik B-1 sampai BH-5	77

DAFTAR NOTASI

A_p	= Luas penampang tiang
c	= Kohesi
C_u	= Kohesi undrained
D	= Diameter tiang
E_b	= Modulus elastisitas tanah didasar tiang
E_s	= Modulus elastisitas tanah disekitar tiang
E_p	= Modulus elastisitas dari bahan tiang
H	= Kedalaman
I_o	= Faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat (incompressible) dalam massa semi tak terhingga
K	= Faktor kekakuan tiang
L	= Panjang tiang
L_i	= Panjang Lapisan tanah yang ditinjau
N	= Harga SPT lapangan
P	= Luas selimut tiang
$Q_{all} = Q_{ijin}$	= Kapasitas tahanan ijin
$Q_b = Q_p$	= Kapasitas tahanan di ujung tiang
q_c	= Tahanan ujung sondir
Q_s	= Kapasitas tahanan kulit
Q_{ult}	= Kapasitas tahanan <i>ultimate</i>
R_b	= Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung
R_h	= Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras
R_k	= Faktor koreksi kemudahmampatan tiang untuk $\mu = 0.35$
R_μ	= Faktor koreksi angka poisson
S	= Penurunan pondasi
SF	= Faktor keamanan
γ_{dry}	= Berat isi tanah kering
γ_{sat}	= Berat isi tanah jenuh
$\nu = \mu$	= Poisson Ratio

- α = Koefisien adhesi antara tanah dan tiang
- θ = sudut geser dalam
- \square = Sudut dilatansi

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Dr	= Kepadatan relatif
EA	= Elastisitas dengan Luas
EI	= Elastisitas dengan Inersia
FK	= Faktor keamanan
Kx	= Permeabilitas arah x
Ky	= Permeabilitas arah y
SPT	= Standard penetration test
Ux	= Koordinat titik arah x
Uy	= Koordinat titik arah y

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan tingginya tingkat pelayanan lalu lintas darat pada jalan arteri di Persimpangan empat simpang pos antara pertemuan jalan Jamin Ginting dengan jalan Ring Road Medan. Dalam Hal ini kurangnya jumlah lajur jalan, Sehingga penambahan lajur pada lebar jalan existing sangat terbatas.

Sebelum melakukan pekerjaan konstruksi baik itu jalan tol, jembatan, *fly over*, maupun gedung hal yang utama dilakukan adalah pekerjaan pondasi.

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas menahan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/ super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya.

Pondasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu pondasi dangkal (*Shallow foundation*) dan pondasi dalam (*Deep foundation*). Secara umum permasalahan yang dapat timbul pada pondasi dalam lebih rumit dari pada pondasi dangkal. Dalam hal ini penulis mencoba dalam Tugas Akhir ini menganalisa daya dukung pondasi dalam yaitu pondasi *Bored pile*. Pondasi *bored pile* dipilih dikarenakan proses pengeboran yang berkelanjutan dengan lebih sedikit getaran dan kebisingan sehingga meminimalkan tingkat gangguan bagi gedung-gedung atau aktifitas lain disekitarnya. *Bored Pile* merupakan jenis pondasi dalam yang berinteraksi dengan tanah disekitarnya untuk menghasilkan perkuatan/daya dukung untuk mampu menopang beban struktur diatasnya. Ada dua metode yang bisa digunakan dalam proses penyelidikan tanah yaitu penyelidikan tanah dengan metode statis dan penyelidikan tanah dengan metode dinamis.

Penyelidikan tanah dengan metode statis melalui percobaan dilapangan ialah penyelidikan tanah dengan sondir dan *standart penetration test* (SPT). Penyelidikan tanah bertujuan untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikasi dari kekuatan daya dukung lapisan tanah dengan menggunakan rumus *empiris*.

Penyelidikan dengan *standart penetrate test* (SPT) bertujuan untuk mendapatkan gambaran kekuatan lapisan tanah, sifat-sifat tanah dan karakteristik tanah dengan pengamatan secara visual dari pengambilan contoh tanah terganggu.

Data yang dihasilkan dari kedua penyelidikan diatas dapat dijadikan dasar untuk menghitung daya dukung (*Bearing Capacity*) yang merupakan tujuan penulis dari tugas akhir ini.

1.2. Rumusan Masalah

Pada proyek pembangunan Fly Over Jamin Ginting terdapat banyak permasalahan yang dapat ditinjau dan dibahas namun untuk mengkonsentrasikan penulis maka diperlukan adanya pembatasan masalah yang akan ditinjau dan dibahas sehingga dapat meminimalkan timbulnya kerancuan dan penyimpangan dari permasalahan yang dikemukakan. Walaupun demikian hal tersebut tidak akan mempersempit nilai-nilai dari pokok masalah yang akan di bahas, justru akan memperjelas tentang hasil dari masalah yang sedang di bahas.

Berdasarkan pernyataan dikemukakan diatas, maka permasalahan yang dapat diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana hasil perbandingan daya dukung pondasi *bored pile* pada masing-masing titik menggunakan metode analitis dan metode elemen hingga?
- b. Bagaimana hasil penurunan tiang tunggal yang terjadi pada pondasi *bored pile* antara penurunan elastis dengan metode elemen hingga yang di tinjau pada 5 titik yang berbeda?

1.3. Ruang Lingkup

Pada pelaksanaan proyek pembangunan Fly Over Jalan Jamin Ginting Medan terdapat banyak permasalahan yang dapat ditinjau dan dibahas, maka didalam laporan ini sangatlah perlu kiranya diadakan suatu pembatasan masalah, yang bertujuan menghindari kekaburan serta penyimpangan dari masalah yang dikemukakan sehingga semuanya yang dipaparkan tidak menyimpang dari tujuan semula. Walaupun demikian, hal ini tidaklah berarti akan memperkecil arti dari pokok-pokok masalah yang dibahas disini, melainkan hanya karena keterbatasan

belaka. Namun dalam penulisan laporan ini permasalahan yang ditinjau hanya dibatasi pada:

- a. Hanya meninjau gaya vertikal.
- b. Data tanah yang digunakan hanya data *standard penetration test* (SPT) dan parameter tanah.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

- a. Untuk mengetahui hasil perbandingan daya dukung pondasi *bored pile* pada masing-masing titik menggunakan metode analitis dan metode elemen hingga?
- b. Untuk mengetahui hasil penurunan tiang tunggal yang terjadi pada pondasi *bored pile* antara penurunan elastis dengan metode elemen hingga yang ditinjau pada 5 titik yang berbeda?

1.5. Manfaat penulisan

Ada dua manfaat yang dapat diperoleh dalam penulisan tugas akhir ini yaitu manfaat teoritis dan manfaat praktis.

- a. Manfaat teoritis dalam penulisan tugas akhir ini adalah menerapkan ilmu pengetahuan yang telah didapat selama di bangku kuliah dan dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dalam teknik sipil.
- b. Menambah pengetahuan praktis ketekniksipilan dari pembimbing, sehingga menambah pengetahuan bagi penulis yang nantinya dapat diaplikasikan selama di lapangan. Dan diharapkan bermanfaat sebagai khasanah perkembangan ilmu pengetahuan di bidang geoteknik, terutama pondasi *bored pile* bagi penulis dan pihak-pihak terkait.

1.6. Sistematika Pembahasan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, pembatasan masalah dan metode pengumpulan data.

BAB 2 TINJAUAN PUSATAKA

Bab ini berisikan tentang teori – teori dasar yang mendukung studi yang digunakan dalam laporan tugas akhir.

BAB 3 METODOLOGI

Bab ini berisi metodeologi penelitian, pengumpulan dan interpretasi data yang akan digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB 4 ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Bab ini berisi tentang analisis dan perhitungan kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* berdasarkan data yang dikumpulkan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran mengenai studi kasus pada laporan tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan umum

Studi pustaka adalah suatu pembahasan yang berdasarkan pada bahan-bahan, buku referensi yang bertujuan untuk memperkuat materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk menggunakan rumus-rumus tertentu dalam mendesain sesuatu.

2.2. Tanah

Tanah merupakan suatu material yang mencakup semua bahan dari tanah lempung sampai berkerikil, dimana tanah mempunyai sifat elastis, *homogen*, *isotropis*.

2.2.1. Komposisi Tanah

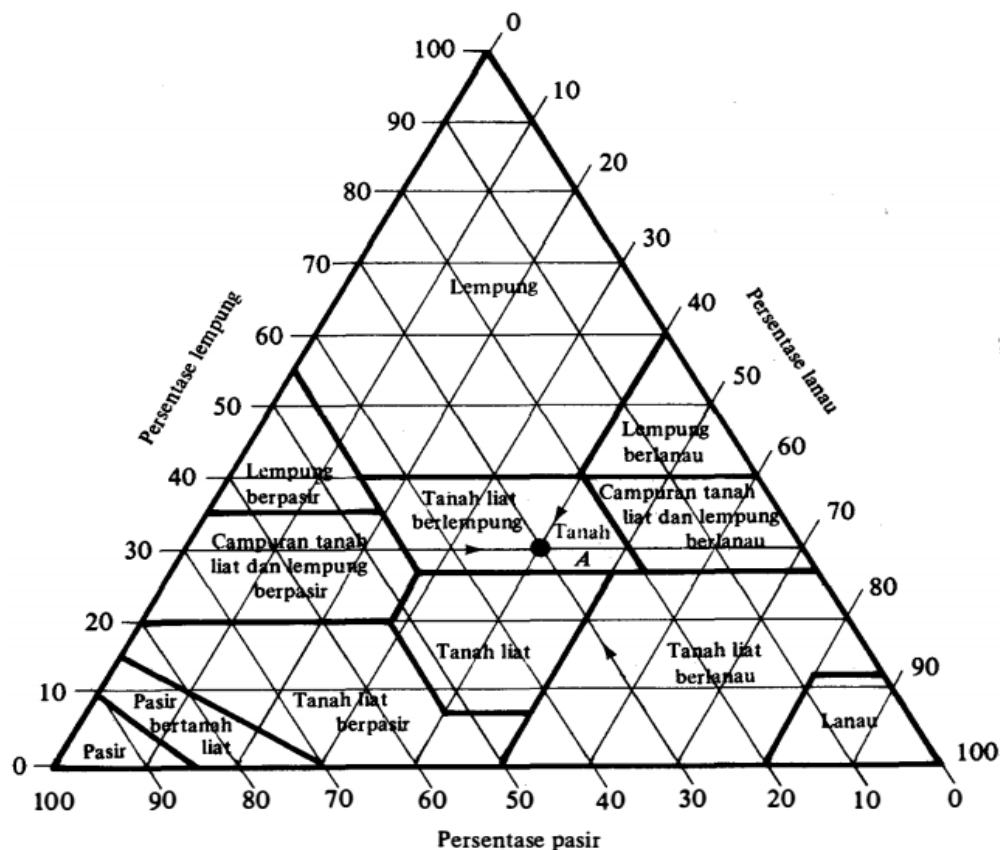
Tanah menurut Das (1995) didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Maka diperlukan tanah dengan kondisi kuat menahan beban di atasnya dan menyebarkannya merata. Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut.

Dalam bukunya Das (1995) menjelaskan ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar, tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*),

tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil-separate-size limit*)

Beberapa sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, beberapa dari sistem sistem tersebut masih di pakai hingga saat ini. Gambar 2.1 menunjukkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas butiran tanah seperti:

- Pasir : Butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0.05mm
- Lanau : Butiran dengan diameter 0.05 sampai dengan 0.002mm
- Lempung : Butiran dengan diameter lebih kecil dari pada 0.002mm



Gambar 2.1: Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur (Das, 1995).

2.3. Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

Dalam merencanakan sebuah pondasi sangatlah penting untuk mengetahui jenis, sifat terlebih karakteristik tanah tersebut. Juga apakah tanah tersebut dapat menahan beban yang ada diatasnya maupun dari pengaruh gaya vertical ataupun horizontal. Untuk mengetahui tentang jenis tanah tersebut dilakukan test Laboratorium dan tanahnya diambil dari berbagai lapisan maupun juga pengamatan langsung dilapangan.

Penyelidikan tanah (*soil investigation*) ada dua jenis yaitu:

a. Penyelidikan di lapangan

Jenis penyelidikan di lapangan seperti pengeboran (*hand boring* ataupun *machine boring*), *Cone Penetrometer Test* (Sondir), *Standard Penetration Test* (SPT), *Sand Cone Test* dan *Dynamic Cone Penetrometer*.

b. Penyelidikan di Laboratorium

Sifat fisik tanah dapat dipelajari dari hasil uji Laboratorium pada sampel tanah yang diambil dari pengeboran. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimit dan penurunan. Jenis penyelidikan di laboratorium terdiri dari uji *indexproperties* tanah (*Atterberg Limit*, *Water Content*, *Spesific Gravity*, *Sieve Analysis*) dan *engineering properties* tanah (*Direct Shear Test*, *Triaxial Test*, *Consolidation Test*, *Permeability Test*, *Compaction Test*, dan CBR).

Dari hasil penyelidikan tanah diperoleh contoh tanah (*soil sampling*) yang dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed soil*)

Suatu contoh tanah dikatakan tidak terganggu apabila contoh tanah itu dianggap masih menunjukkan sifat-sifat asli tanah tersebut. Sifat asli yang dimaksud adalah contoh tanah tersebut tidak mengalami perubahan pada strukturnya, kadar air, atau susunan kimianya. Contoh tanah seperti ini tidaklah mungkin bisa didapatkan, akan tetapi dengan menggunakan teknik-teknik pelaksanaan yang baik, maka kerusakan-kerusakan pada contoh tanah tersebut dapat diminimalisir. *Undisturbed soil* digunakan untuk percobaan *engineering properties*.

b. Contoh tanah terganggu (*disturbed soil*)

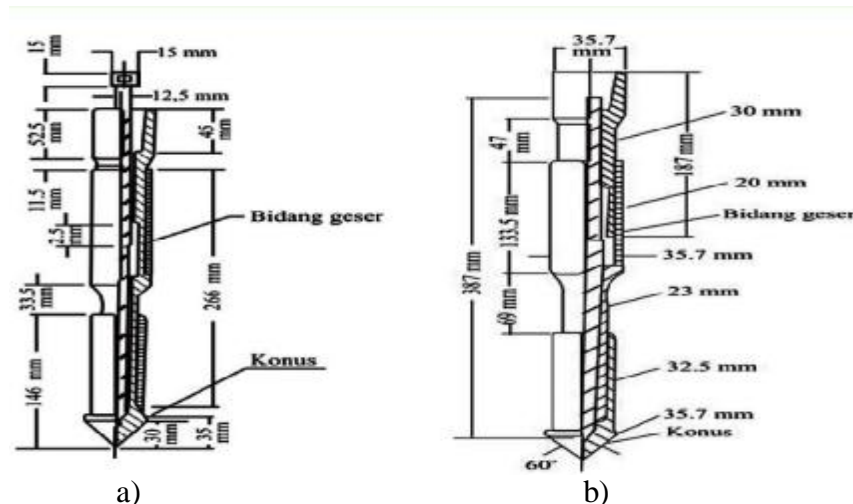
Contoh tanah terganggu adalah contoh tanah yang diambil tanpa adanya usaha-usaha tertentu untuk melindungi struktur asli tanah tersebut.

Disturbed soil digunakan untuk percobaan uji *index properties* tanah.

2.3.1. Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)

Uji Penetrasi Kerucut Statis atau Uji Sondir banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini berguna untuk menentukan lapisan-lapisan tanah berdasarkan tahanan ujung konus dan daya lekat tanah setiap kedalaman pada alat sondir.

Konus yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Gambar 2.2):



Gambar 2.2: Rincian Konus Ganda: a) keadaan tertekan, b) keadaan terbentang (SNI 2827, 2008).

dimana:

- Ujung konus bersudut $60^\circ \pm 5^\circ$.
- Ukuran diameter konus adalah $35,7 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ atau luas proyeksi konus = 10 cm^2 ; bagian runcing ujung konus berjari-jari kurang dari 3 mm.
- Konus ganda harus terbuat dari baja dengan tipe dan kekerasan yang cocok untuk menahan abrasi dari tanah.

2.3.2. Pengujian Penetrasi Standar (SPT)

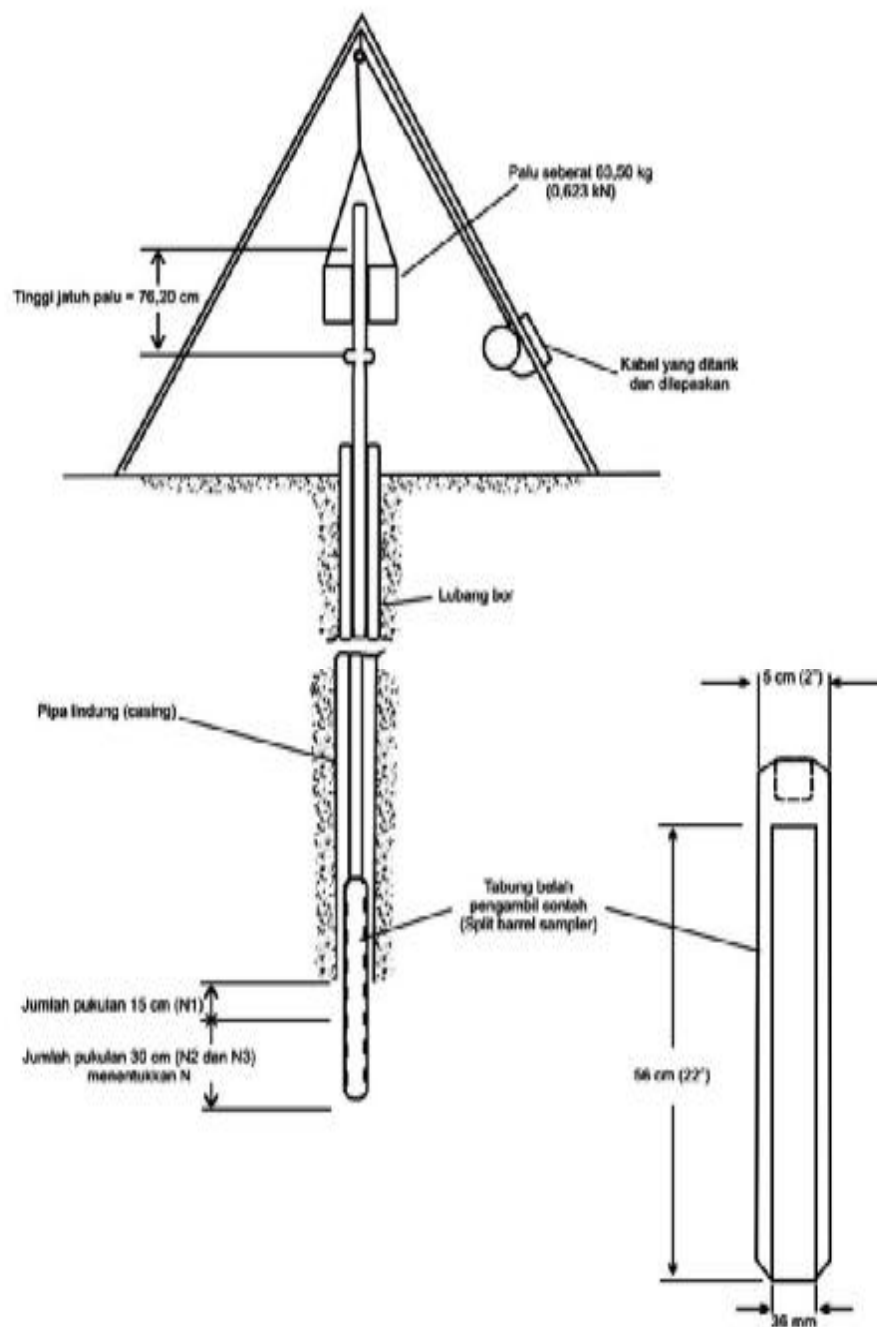
Tujuan Pengujian Penetrasi Standar yaitu untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah tersebut, untuk memperoleh data yang komulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkoheesi yang biasanya sulit diambil sampelnya.

Pengujian Penetrasi Standar (SPT) adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap (SNI 4153, 2008)

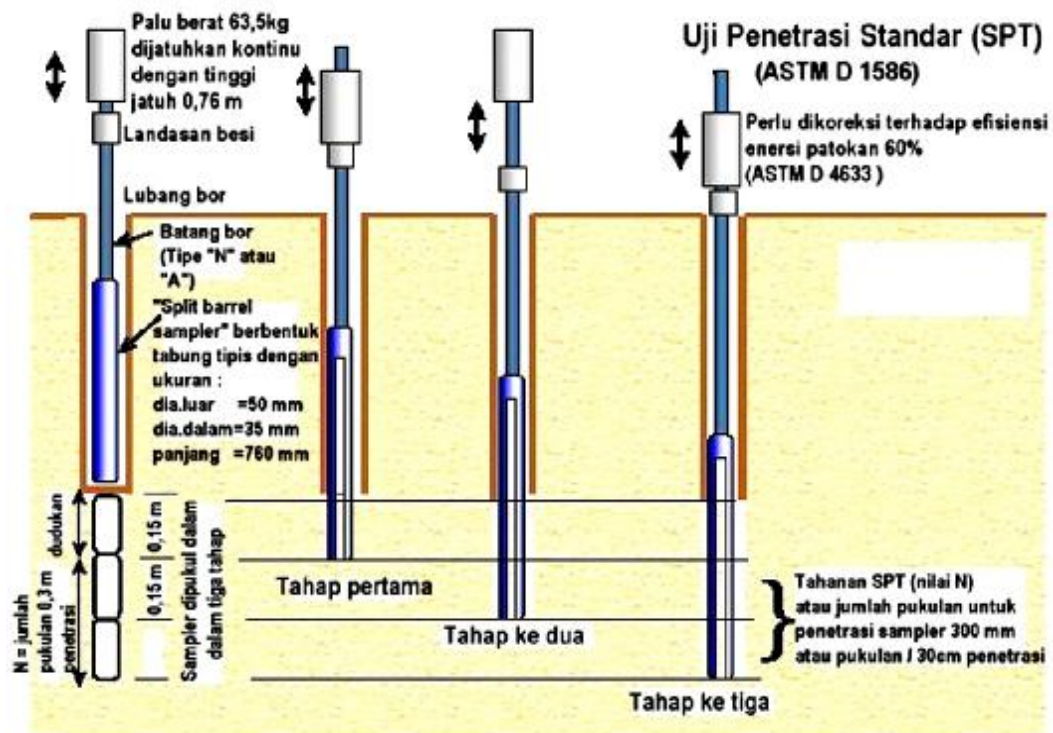
a. Persiapan Pengujian

DiLakukan persiapan pengujian SPT di lapangan dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.3):

- 1) Dipasang blok penahan (*knocking block*) pada pipa bor.
- 2) Diberi tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan.
- 3) Dibersihkan lubang bor pada kedalaman yang akan dilakukan pengujian dari bekas-bekas pengeboran.
- 4) Dipasang split barrel sampler pada pipa bor, dan pada ujung lainnya disambungkan dengan pipa bor yang telah dipasang blok penahan.
- 5) Dimasukkan peralatan uji SPT ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman pengujian yang diinginkan.
- 6) Diberi tanda pada batang bor mulai dari muka tanah sampai ketinggian 15 cm, 30 cm dan 45 cm.



Gambar 2.3: Pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).



Gambar 2.4: Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153, 2008).

b. Prosedur Pengujian

DiLakukan pengujian dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.3):

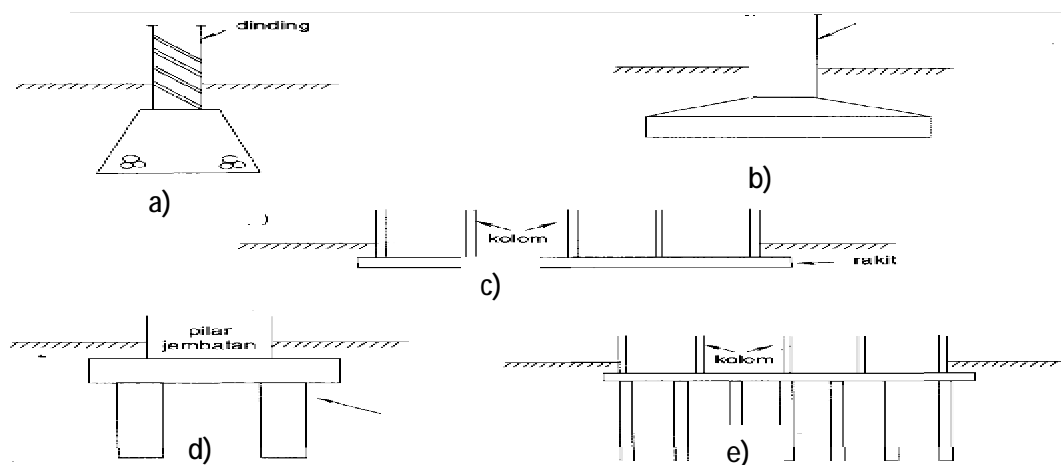
- 1) Dilakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m s.d 2,00 m atau sesuai keperluan.
- 2) Di tarik tali pengikat palu (hammer) sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm).
- 3) Dilepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan (Gambar 2.3);Ulangi 2) dan 3) berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm.
- 4) Dihitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama.
- 5) Diulangi 2), 3), 4) dan 5) sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke-tiga.
- 6) Dicatat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm:
 - 15 cm pertama dicatat N1.
 - 15 cm ke-dua dicatat N2.
 - 15 cm ke-tiga dicatat N3.

- Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. Nilai N_1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran.
- 7) Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter.
 - 8) Dicatat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.

2.4. Pondasi

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan tanah atau batuan yang berada di bawahnya (Hardiyatmo, 1996). Terdapat dua klasifikasi fondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit. contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang. Macam-macam contoh tipe pondasi diberikan dalam Gambar 2.5.

Pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur/bangunan (*sub-structure*) yang berfungsi meneruskan beban dari baguian atas struktur/bangunan (*upper-structure*) kelapisan tanah yang berada dibagian bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*) tanah/pondasi yang berlebihan (Hardihardaja, 1997).



Gambar 2.5: Macam-macam *type* pondasi: a) Pondasi memanjang, b) Pondasi telapak, c) Pondasi rakit, d) Pondasi sumuran, e) Pondasi tiang (Hardihardaja, 1997).

Istilah struktur-atas umumnya dipakai untuk menjelaskan bagian sistem yang direkayasa yang membawa beban kepada pondasi atau struktur-bawah. Istilah struktur atas mempunyai arti khusus untuk bangunan-bangunan dan jembatan-jembatan, akan tetapi, pondasi tersebut dapat juga hanya menopang mesin-mesin, mendukung peralatan industrial, bertindak sebagai alas untuk papan iklan, dan sejenisnya. Karena sebab-sebab inilah maka lebih baik melukiskan suatu pondasi itu sebagai bagian tertentu dari sistem rekayasaan komponen-komponen pendukung beban yang mempunyai bidang antara (*interfacing*) terhadap tanah.

Menurut Bowles (1997) langkah-langkah berikut ialah kira-kira persyaratan minimum untuk merancang suatu pondasi:

- 1) Tentukan lokasi tapak dan posisi dari muatan. Perkiraan kasar dari beban-beban pondasi biasanya disediakan oleh nasabah atau dihitung-sendirinya (*in-house*). Tergantung dari kepelikan sistem beban atau tapak, maka dapat dimulai membuat tinjauan kepustakaan untuk mengetahui bagaimana orang lain berhasil mengadakan pendekatan atas masalah yang sejenis.
- 2) Pemeriksaan fisik atas tapak tentang adanya setiap masalah geologis atau masalah-masalah lain, bukti-bukti dari kemungkinan adanya permasalahan. Lengkapilah hal-hal ini dengan segala data pertanahan yang telah diperoleh sebelumnya.
- 3) Menetapkan program eksplorasi lapangan dan penyusun pengujian pelengkap lapangan yang perlu atas dasar temuan, serta menyusun program uji Laboratorium.
- 4) Tentukan parameter rancangan tanah yang perlu berdasarkan pengintegrasian data uji, asas-asas, ilmiah, dan pertimbangan rekayasa. Hal ini mungkin melibatkan analisis komputer yang bersifat sederhana atau rumit. Untuk masalah-masalah yang kompleks, bandingkanlah data yang dianjurkan dengan kepustakaan yang pernah diterbitkan atau gunakanlah konsultan geoteknis yang lain agar hasil-hasilnya memberikan perspektif menurut sumber luar.
- 5) Buatlah rancangan pondasi dengan menggunakan parameter-parameter tanah menurut langkah nomor 4. Pondasi tersebut seharusnya bersifat ekonomis dan mampu untuk dibangun oleh karyawan konstruksi yang tersedia.

Perhitungkanlah toleransi-toleransi konstruksi yang praktis dan praktek-praktek konstruksi yang bersifat lokal. Laksanakan interaksi yang erat dengan semua pihak yang berkepentingan (nasabah, para perekayasa, arsitek, kontraktor) sehingga sistem struktur-bawah itu tidak dirancang secara berlebihan dan risiko dijaga agar berada pada tingkat-tingkat yang dapat diterima. Pada langkah ini dapat dipakai perangkat komputer secara sangat luas (atau semua sama sekali tidak).

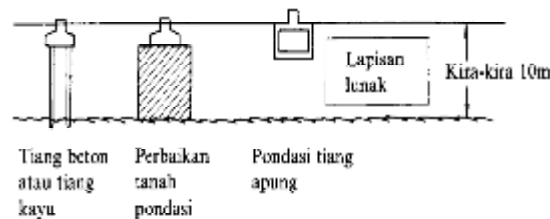
Dari hal-hal diatas, jelas bahwa keadaan tanah pondasi pada urutan no 1 yang merupakan keadaan paling penting dan perinciannya. Berikut ini adalah jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000):

- 1) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter dibawah permukaan tanah (Gambar 2.6), dalam hal ini pondasinya adalah pondasi telapak (*spread foundation*).
- 2) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 10 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini dipakai pondasi tiang atau pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi (Gambar 2.7). Jika memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton yang dicor ditempat (*cast in place*) kurang ekonomis, karena tiang tersebut kurang panjang.
- 3) Bila tanah pondasi terletak pada kedalaman 20 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini tergantung dari penurunan (*settlement*) yang diizinkan, dapat dipakai pondasi seperti Gambar 2.8. Apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*). Tetapi bila terdapat batu besar (*cobble stones*) pada lapisan antara, pemakaian kaison lebih menguntungkan.
- 4) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter di bawah permukaan tanah, biasanya dipakai kaison terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.9. Tetapi apabila tekanan *atmosfir* yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm^2 digunakan juga kaison tekanan.

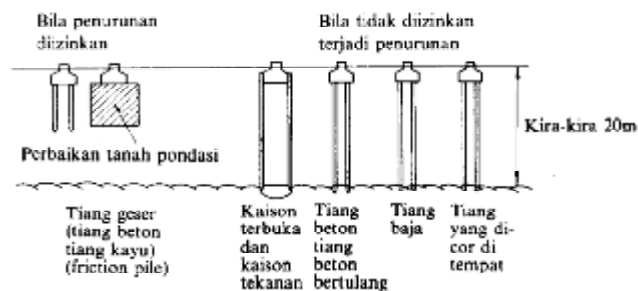
- 5) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.



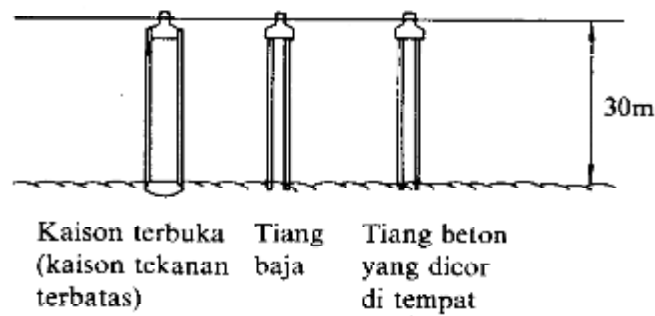
Gambar 2.6: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi cukup dangkal (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).



Gambar 2.7: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).



Gambar 2.8: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).



Gambar 2.9: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).

2.4.1. Pengertian Pondasi Tiang Bor

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal kesumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000). Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan dengan monolit menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi.

Dalam Harianto (2007) menjelaskan perbedaan antara pondasi tiang bor dengan pondasi tiang pancang terletak pada metode konstruksinya. Secara umum, pondasi tiang bor (*bored pile*) merupakan pondasi yang dikonstruksi dengan cara mengecor beton segar kedalam lubang yang telah dibor sebelumnya. Tulangan baja dimasukkan ke dalam lubang bor sebelum pengecoran beton. Pondasi tiang bor merupakan *nondisplacementpile* karena pelaksanaannya tidak menyebabkan perpindahan tanah.

Keuntungan-keuntungan pondasi tiang bor:

- a) Peralatan pengeboran mudah dipindahkan sehingga waktu pelaksanaan relatif sangat cepat.
- b) Berdasar contoh tanah selama pengeboran dapat dipelajari kesesuaian kondisi tanah yang dijumpai dengan keadaan tanah dari *boring log* yang dilakukan pada waktu penyelidikan tanah.

- c) Diameter dan kedalaman lubang bor mudah divariasikan sehingga jika terjadi perubahan-perubahan dari rencana semula misalnya beban kolom berubah, kondisi tanah berbeda dengan penyelidikan tanah dapat segera dilakukan penyesuaian-penyesuaian.
- d) Suara dan getaran yang ditimbulkan dari alat *boring* relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan alat-alat pancang lain.
- e) Dapat dipergunakan untuk segala macam kondisi tanah misalnya harus menembus lapisan keras, kerakal, lensa-lensa batuan yang tidak dapat ditembus oleh tiang pancang.
- f) Tiang bor merupakan "*high bearing capacity piles*" karena diameter dapat divariasikan sampai 1,50m, sehingga lebih ekonomis untuk beban-beban kolom yang besar terutama untuk pondasi bangunan tinggi. Dalam arti, 1 tiang bor dapat menggantikan suatu kelompok tiang pancang sehingga *pile cap* yang diperlukan praktis lebih kecil dan ekonomis.
- g) Tidak diperlukan sambungan tiang terutama untuk tiang-tiang yang dalam dimana pada tiang pancang mempunyai panjang yang terbatas sehingga harus disambung dan titik sambungan biasanya merupakan titik-titik kelemahan selama pemancangan.

Kerugian-kerugian pondasi tiang bor:

- a) Prosedur pelaksanaan terutama pengecoran adalah kritis terhadap kualitas tiang secara keseluruhan sehingga memerlukan pengawasan dan pencatatanyang lebih ketat dan teliti selama pelaksanaan.
- b) Teknis-teknis pelaksanaan kadang sangat sensitif terhadap keadaan tanah yang dijumpai sehingga diperlukan personel-personel yang betul-betul berpengalaman.
- c) Kekurangan pengalaman, pengetahuan dari masalah-masalah pelaksanaan dan metode perencanaan dapat menimbulkan masalah-masalah seperti: keterlambatan pelaksanaan, daya dukung yang tidak dipenuhi dan sebagainya.
- d) Kondisi lapangan pekerjaan lebih kotor/berlumpur dibandingkan dengan pondasi tiang pancang sehingga dapat menghambat pekerjaan.

- e) Karena makin besar diameter tiang bor yang direncanakan makin besar pula daya dukungnya sehingga apabila diperlukan *loading test*, biayanya menjadi lebih mahal.
- f) Kondisi tanah di kaki tiang sering kali rusak akibat proses pengeboran. Adanya endapan tanah dari runtuhannya dinding lubang bor atau sedimentasi lumpur menjadikan daya dukung ujung dari tiang bor tidak dapat diandalkan.
- g) Pelaksanaan pondasi tiang bor memerlukan waktu yang cukup lama.

2.4.2. Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor

Kualitas dari pondasi tiang sangat tergantung dari cara pelaksanaannya. Pemilihan cara pelaksanaan dan alat yang sesuai, cara pelaksanaan (*workmanship*) yang baik dan pengawasan yang ketat terhadap pelaksanaan pondasi tiang bor sangat penting.

Salah satu faktor utama yang menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan jenis pondasi adalah keandalannya. Arti dari keandalan disini adalah keyakinan bahwa pondasi telah dirancang dapat memikul beban yang diberikan dengan suatu faktor keamanan yang memadai. Konsekuensi dari keandalan yang ditawarkan oleh pondasi tiang bor, perhatian yang lebih besar harus dicurahkan pada detail pelaksanaan. Pada dasarnya, semua cara pelaksanaan pondasi tiang akan merubah keadaan tanah asli setempat. Pelaksanaan konstruksi yang dilakukan tanpa pengawasan kontraktor ahli dapat berakibat pada kegagalan konstruksi dan juga terhadap desain pondasi tiang bor yang telah dilakukan.

Pelaksanaan pondasi tiang bor secara garis besar meliputi penggalian lubang bor, pembersihan dasar lubang bor, pemasangan tulangan, dan pengecoran beton kedalam lubang.

2.4.3. Penggalian lubang

Penggalian lubang dilakukan dengan cara pengeboran tanah. Pengeboran diawali dengan menentukan posisi peralatan pengeboran dan melakukan pengeboran awal dengan metode kering hingga kedalaman tertentu.

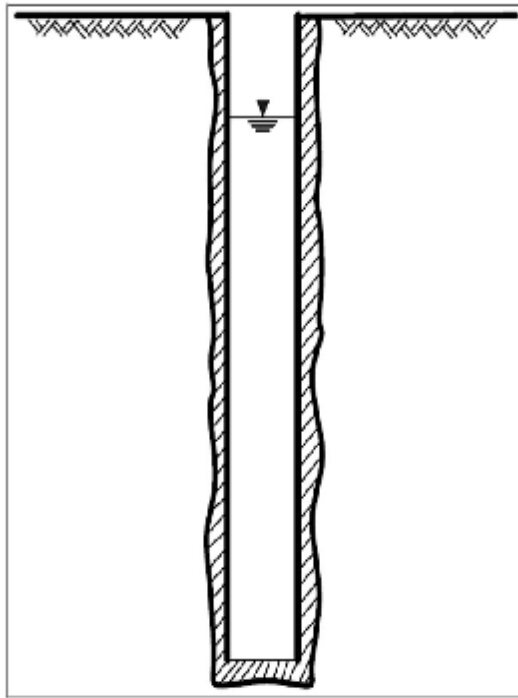
Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pengeboran adalah:

- a) Dimensi alat bor dan pemasangan alat pengeboran serta ketelitian letak dan tegak lurusnya tiang.
- b) Persediaan alat-alat bantu yang kiranya diperlukan seperti casing, alat-alat untuk membersihkan lubang, alat-alat pengaman dan sebagainya.
- c) Batas dalamnya pengeboran lubang. Batas ini tergantung dari keadaan tanah. Meskipun umumnya telah ditentukan dalam spesifikasi, namun sebaiknya penentuan di lapangan ditentukan oleh *site soil engineer* yang cukup ahli dan berpengalaman. Jika memungkinkan, sebaiknya kondisi dasar lubang juga diperiksa. Di luar negeri, dimana lubang bor itu kering, biasanya *soil engineer* harus turun ke dalam lubang untuk memeriksa kelayakan dasar galian.

Pada tanah lempung cukup keras, umumnya lubang tiang dapat langsung dibuat tanpa harus menggunakan *casing*. Dalam hal ini, mungkin ada bagian-bagian dinding yang runtuh, namun secara umum akan terlihat potongan lubang seperti pada Gambar 2.10.

Akibat dari penggalian lubang, maka:

- 1) Tanah sekeliling dan di bawah lubang terganggu, serta terjadi perubahan tegangan pada bagian yang diarsir pada Gambar 2.10 karena pengambilan tanah,
- 2) Jika muka air tanah tinggi, maka akan terjadi aliran air pori tanah ke dalam lubang.



Gambar 2.10: *Overbreak* diameter lubang bor akibat longsoran tanah (Harianto, 2007).

Para ahli umumnya sependapat bahwa kedua peristiwa tersebut di atas akan mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser tanah lempung. Untuk mengurangi pengaruh tersebut maka penting agar pengecoran beton dilaksanakan secepat mungkin setelah lubang dibuat. Sebagian ahli berpendapat bahwa penggunaan *bentonite* juga dapat mengurangi pengaruh tersebut. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan yaitu bahwa dasar lubang bor harus dibersihkan dahulu dari lumpur dan kotoran yang disebabkan oleh longsohnya sebagian dinding lubang sebelum beton dicor.

Masalah utama dalam instalasi tiang bor pada tanah pasir adalah masalah pelaksanaan. Pada keadaan tanah khusus, seperti tanah pasir lepas sering memerlukan dipakainya *casing* atau penggunaan *bentonite*. Pengaruh pengeboran tanah pasir pada dasar lubang umumnya sama dengan pada tanah lempung yaitu berkurangnya daya dukung tanah. Berdasar penelitian beberapa ahli, disimpulkan bahwa penggunaan *bentonite* secara praktis tidak mengurangi tahanan selimut tanah pada tiang bor, jika cara pelaksanaan tiang bor cukup baik.

2.4.4. Pembersihan Dasar Lubang

Pembersihan dasar lubang dianggap hal yang paling penting dalam pelaksanaan pengeboran, terlebih jika lubang penuh dengan air. Terdapat banyak cara yang dapat dilakukan, tetapi jika lubang penuh air, pemakaian *cleaning bucket* khusus mungkin yang paling dapat diandalkan. Hal penting juga agar lubang tidak terlalu lama dibiarkan, sebaiknya pemasangan tulangan dan pengecoran dilakukan dalam waktu tidak lebih dari 24 jam setelah lubang dibor.

2.4.5. Pemasangan Tulangan

Perencanaan besi tulangan untuk tiang bor merupakan bagian dari proses desain dan bentuk geometri besi tulangan memiliki pengaruh yang signifikan pada tahapan konstruksi. Penulangan untuk tiang bor biasanya diperlukan untuk menahan gaya lateral, gaya tarik dan momen yang timbul akibat gaya gempa, angin dan sebagainya.

Besi tulangan yang dipakai harus memenuhi spesifikasi ASTM A 615 yakni mempunyai tegangan leleh minimum 3900 kg/cm². Semua besi tulangan harus dipabrikasi secara akurat dan ukuran-ukurannya harus sesuai dengan gambar kerja (*shop drawing*). Tulangan tiang bor terdiri dari tulangan longitudinal (tulangan utama) dan tulangan transversal (sengkang). Prinsip utama penulangan longitudinal adalah untuk menahan tegangan akibat lentur dan tarik. Apabila tegangan lentur dan tegangan tarik diabaikan, maka tidak diperlukan tulangan utama kecuali diperlukan dalam spesifikasi. Umumnya, penulangan tiang bor akan maksimum pada daerah atas dan akan berkurang seiring dengan bertambahnya panjang. Tulangan *longitudinal* yang digunakan adalah tulangan ulir.

Jarak antar tulangan longitudinal harus cukup sehingga tidak menimbulkan masalah aliran beton segar selama proses pengecoran berlangsung. Rekomendasi praktis jarak minimum antar tulangan adalah berkisar dari 3–5 kali ukuran terbesar agregat.

Tulangan *transversal* berfungsi untuk menahan gaya geser yang bekerja pada tiang bor. Tulangan transversal bisa dipasang dengan dua macam konfigurasi yakni *hoop* dan *spiral*. Rangkaian tulangan harus cukup kuat untuk menahan gaya

akibat beton segar yang mengalir selama proses pengecoran dan tidak boleh terjadi deformasi yang berlebihan pada tulangan. Pemasangan tulangan transversal harus cukup kuat sehingga mampu mengekang tulangan longitudinal dengan baik.

Untuk membantu dalam proses pabrikasi besi tulangan tiang bor dan untuk memastikan bahwa diameternya tepat, maka tulangan transversal yang berbentuk spiral harus dipabrikasi dengan diameter yang benar. *Spiral* umumnya memberikan bantuan agar pemasangan tulangan menjadi mudah dan diameternya tepat.

2.4.6. Pengecoran beton

Seperti dikemukakan sebelumnya, untuk menghindari terganggunya stabilitas lubang bor sehingga terjadi keruntuhan dinding lubang dan sebagainya, maka pelaksanaan pengecoran beton pada tiang bor sebaiknya dilaksanakan segera setelah lubang dibor.

Apabila lubang bor dalam keadaan kering dan tidak terlalu dalam, pengecoran beton biasanya tidak memerlukan teknik tertentu. Lain halnya jika lubang penuh dengan air dan cukup dalam, maka pengecoran beton biasanya dilakukan dengan *tremie*. Pelaksanaan pengecoran dengan *tremie* memerlukan teknik khusus.

Hal penting pertama yang perlu diperhatikan adalah *workability* dari beton. *Workability* beton diperlukan agar beton dapat mendesak kotoran tanah yang berada di dasar lubang ke atas serta dapat mendesak ke samping lubang. Biasanya diperlukan beton dengan slump >15cm. Hal kedua adalah agar beton tidak cepat mengering/mengeras. Hal ini perlu disesuaikan dengan perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian pengecoran.

2.5. Parameter tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah. Karena sifat-sifat tersebut maka penting dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*).

1. Modulus Young (E)

Nilai perkiraan modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian SPT (*Standart Penetration Test*), Selain itu modulus elastisitas tanah dapat juga di cari dengan pendekatan terhadap jenis dan konsistensi tanah dengan N-SPT , seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas pada tanah lempung (Randolph, 1978).

Subsurface condition	Penetration resistance range	μ 50 (%)	Poisson's Ratio (ν)	Shear strength S_u (psf)	Young's Modulus Range E_s (psi)	Shear Modulus Range G (psi)
Very soft	2	0,020	0,5	250	170-340	60-110
Soft	2-4	0,020	0,5	375	260-520	80-170
Medium	4-8	0,020	0,5	750	520-1040	170-340
Stiff	8-15	0,010	0,45	1500	1040-2080	340-690
Very stiff	15-30	0,005	0,40	3000	2080-4160	690-1390
Hard	30	0,004	0,35	4000	2890-5780	960-1930
	40	0,004	0,35	5000	3470-6940	1150-2310
	60	0,0035	0,30	7000	4860-9720	1620-3420
	80	0,0035	0,30	9000	6250-12500	2080-4160
	100	0,003	0,25	11000	7640-15270	2540-5090
	120	0,003	0,25	13000	9020-18050	3010-6020

Tabel 2.2: Korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas pada tanah pasir (Schmertman, 1970).

Subsurface condition	Penetration Resistance (N)	Friction Angle ϕ (deg)	Poisson Ratio (ν)	Cone penetration $q_c=4N$	Relative Density $D_r(\%)$	Young's Modulus Range E_s (psi)	Shear Modulus Range G (psi)
Very loose	0-4	28	0,45	0-16	0-15	0-440	0-160
Loose	4-10	28-30	0,4	16-40	15-35	440-1100	160-390
Medium	10-30	30-36	0,35	40-120	35-65	1100-3300	390-1200
Dense	30-50	36-41	0,3	120-100	65-85	3300-5500	1200-1990

2. Poisson's Ratio (ν)

Rasio poisson sering dianggap sebesar 0,2 – 0,4 dalam pekerjaan – pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh dan nilai 0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan. dalam Tabel 2.3 ditunjukkan hubungan antara jenis tanah, konsistensi dengan poisson ratio.

Tabel 2.3: Hubungan Jenis Tanah, konsistensi dan poisson ratio (ν), (Hardiyatmo, 1994).

Soil Type	Description	(ν)
Clay	Soft	0.35-0.40
	Medium	0.30-0.35
	Stiff	0.20-0.30
Sand	Loose	0.15-0.25
	Medium	0.25-0.30
	Dense	0.25-0.35

2. Berat Jenis Tanah Kering (γ_{dry})

Berat jenis tanah kering adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan satuan volume tanah. Berat jenis tanah kering diperoleh dari data *Soil Test* dan *Direct Shear* dan di korelasikan dengan data N-SPT pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.4: Hubungan jenis tanah dengan berat isi tanah kering (Soedarmo, 1993).

Jenis Tanah	Angka Pori e	Kadar air dalam keadaan jenuh (%)	Berat isi tanah kering γ_{dry}	
			lb/ft ³	kN/m ³
Pasir lepas seragam	0.80	30	92	14.50
Pasir padat seragam	0.45	16	116	18
Pasir kelanauan lepas berbutir tajam/bersudut	0.65	25	102	16
Lempung kaku	0.60	21	108	17
Lempung lunak	0.90-1.40	30-50	73-93	11.50-14.50
Loess	0.90	25	86	13.50
Lempung organik lunak	2.50-3.20	90-120	38-51	6-8
Tanah glasial	0.30	10	134	21

Tabel 2.5: Korelasi nilai berat isi dengan N-SPT pada tanah lempung (*All pile manual*, 2017).

Consis tensi	Symbol (Psf)	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Very stiff	Hard
SPT UCS Satura ted	N _{spt} q_u γ	0-2 0-500 <100	2-4 500-1000 100-120	4-8 1000-2000 100-130	8-16 2000-4000 120-130	16-32 4000-8000 120-140	>32 >8000 >130

Tabel 2.6: Korelasi nilai berat isi dengan N-SPT pada tanah pasir (*Allpile manual*, 2017).

Consistensi	Symbol (Psf)	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
SPT	Nspt	0-4	4-10	10-30	30-50	>50
Moist	γ	<100	95-125	110-130	110-140	>130
Submerged	γ	<60	55-65	60-70	65-85	>75

3. Berat Jenis Tanah Jenuh (γ_{sat})

Berat isi tanah jenuh adalah perbandingan antara berat tanah jenuh air dengan satuan volume tanah seluruhnya. Di mana berat isi tanah kering juga diperoleh dari pengujian dilaboratorium, atau dengan Pers. 2.1.

$$\gamma_{sat} = \gamma_{dry} + 9.8 \quad (2.1)$$

4. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Sudut geser dalam bersama dengan kohesi merupakan faktor dari kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Nilai dari sudut geser dalam didapat dari *engineering properties* tanah, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

5. Sudut Dilatansi (ψ)

Sudut dilatansi, ψ dinyatakan dalam derajat. Selain tanah lempung yang terkonsolidasi sangat berlebih, tanah lempung cenderung tidak menunjukkan dilatansi sama sekali yaitu $\psi = 0$. Dilatansi dari tanah pasir tergantung pada kepadatan serta sudut gesernya (Bakker dkk., 2007), yang dinyatakan dengan Pers. 2.2.

$$= \phi - 30^\circ \quad (2.2)$$

6. Permeabilitas (k)

Permeabilitas adalah kecepatan masuknya air pada tanah dalam keadaan jenuh. Penetapan *permeabilitas* dalam tanah baik vertial maupun horizontal sangat

penting peranannya dalam pengelolaan tanah dan air. Nilai koefisien *permeabilitas* tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah tersebut seperti pada Tabel 2.7:

Tabel 2.7: Nilai koefisien *Permeabilitas* tanah (Das, 1995).

Jenis tanah	K	
	cm/dtk	ft/mnt
Kerikil bersih	1.0-100	2.0-200
Pasir kasar	1.0-0.01	2.0-0.02
Pasir halus	0.01-0.001	0.02-0.002
Lanau	0.001-0.00001	0.002-0.00002
lempung	< 0.000001	< 0.000002

6. Kohesi (c)

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser tanah, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah.

Tabel 2.8: Parameter rencana tiang tanah kohesif (BMS6-M8, 1992).

Kondisi tanah kohesif			Kuat geser “undrained” rata- rata nominal, c_u kpa	Koefisien terganggu F_c
Konsistensi		Nilai 'N'		
Sangat Lembek	Hilang antara jari tangan	0-2	0-10	1,0
Lembek	Mudah di bentuk dengan jari	2-4	10-25	1,0
Teguh	Dapat di bentuk dengan jari dan tekanan kuat	4-8	25-45	1.0
			45-50	1,0-0.95
Kenyal	Tidak dapat dibentuk dengan jari	8-15	50-60	0.95-0,8
			60-80	0.8-0.65
			80-100	0.65-0.55
Sangat Kenyal	Getas atau tahan	15-30	100-120	0.55-0.45
			120-140	0.45-0.4
			140-160	0.4-0.35
			160-180	0.36-0.35
			180-200	0.35-0.34
Keras	Keras	>30	>200	0.34

Tabel 2.9: Parameter rencana tiang untuk tanah non kohesif (*Bridge Design Manual*, 1992).

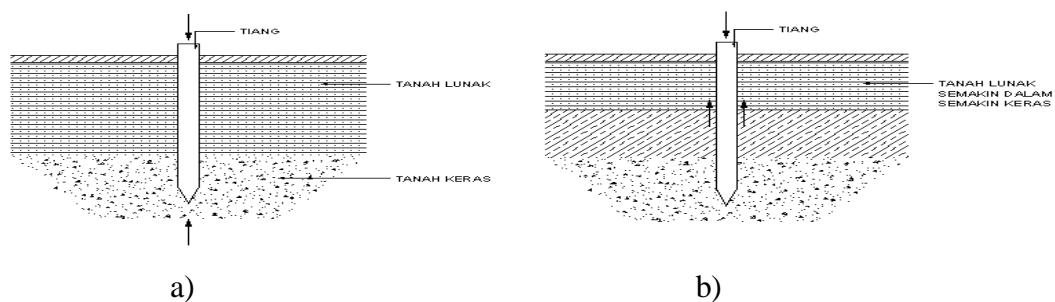
Kondisi tanah		Batas kedalaman/dia meter tiang Z_L/d	F_t		N_q	
			Tiang pancang	Tiang bora tau tiang cor di tempat	Tiang pancang	Tiang bor
Lepas	0-10	6	0.8	0.3	60	25
Sedang	10-30	8	1.0	0.5	100	60
Padat	30-50	15	1.5	0.8	180	100

2.6 Kapasitas Daya Dukung

2.6.1. Daya dukung ujung tiang dan Tiang Gesek

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam (Hardiyatmo, 2008), yaitu:

- 1) Daya dukung ujung tiang (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang (Gambar 2.11a).
- 2) Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya (Gambar 2.11b).



Gambar 2.11 Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya, a) *end bearing*, b) *friction pile* (Hardiyatmo, 2008).

2.6.2. kapasitas Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Dari Data N SPT

Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split spoon* kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah (Φ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Hubungan kepadatan relatif, sudut geser tanah dan nilai N dari pasir dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10: Hubungan dari, Φ dan N dari pasir (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).

Nilai N	Kepadatan Relative (Dr)		Sudut Geser Dalam	
			Menurut Peck	Menurut Meyerhof
0-4	0,0-0,2	Sangat lepas	< 28,5	< 30
4-10	0,2-0,4	Lepas	28,5-30	30-35
10-30	0,4-0,6	Sedang	30-36	35-40
30-50	0,6-0,8	Padat	36-41	40-45
> 50	0,8-1,0	Sangat Padat	< 41	> 45

Adapun perkiraan kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah kohesi dan non kohesi didasarkan pada data uji Laboratorium, Reese and O'neil (1999) mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

1. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan lekatan (*skin friction*) pada tanah kohesif (Reese and O'neil, 1999) ditunjukkan dalam Pers. 2.3 dan 2.4:

Kekuatan ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u \quad (2.3)$$

Tahanan geser selimut tiang:

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L \quad (2.4)$$

Dimana:

p = Keliling

C_u = Kohesif lapisan tanah yang tidak teratur

α = Faktor adhesi

ΔL = Kedalaman

AP = Luas penampang

N_c = Faktor daya dukung

Adapun Pers. Untuk mencari nilai α sesuai Pers. 2.5:

$$\alpha = 0,55 \rightarrow \text{for } \frac{C_u}{P_a} \leq 1,5$$
$$0,55 - 0,1 \cdot \left(\frac{C_u}{P_a} - 1,5 \right) \rightarrow \text{for } 1,5 < \frac{C_u}{P_a} \leq 2,5 \quad (2.5)$$

Keliling selimut tiang sesuai Pers. 2.6

$$p = \pi \cdot D \quad (2.6)$$

D = Diameter

Luas penampang tiang sesuai Pers. 2.7

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (2.7)$$

2. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan lekatan (*skin friction*) pada tanah non kohesif (Resse and O'neil 1999) ditunjukkan dalam Pers.2.6 dan 2.7:

Kekuatan ujung tiang sesuai Pers. 2.8

$$Q_b = Q_p \cdot AP \quad (2.8)$$

Adapun Pers. Untuk mencari nilai Q_p sesuai Pers. 2.9

$$Q_p = 57,5 \cdot N_{spt} \quad (2.9)$$

Q_p = Resistensi satuan titik

Tahanan geser selimut tiang Pers. 2.10

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L \quad (2.10)$$

Adapun Pers. Untuk mencari nilai f Pers. 2.11

$$f = \beta \cdot \sigma \quad (2.11)$$

$\sum f$ = *friction*

σ = tegangan

2.7. Faktor Keamanan

Daya dukung ijin pondasi tiang untuk beban aksial, Q_a atau Q_{ult} , dengan suatu faktor keamanan (FK) baik secara keseluruhan maupun secara terpisah dengan menerapkan faktor keamanan pada daya dukung selimut tiang dan pada tahanan ujungnya. Karena itu daya dukung ijin tiang dapat dinyatakan dalam Pers.2.12 dan 2.13:

$$Q_a = \frac{Q_u}{FK} \quad (2.12)$$

$$Q_a = \frac{Q_p}{FK_{ujung}} + \frac{Q_s}{FK_{selimut}} \quad (2.13)$$

Untuk menentukan faktor keamanan dapat digunakan klasifikasi struktur bangunan sebagai berikut:

1. Bangunan monumental, umumnya memiliki umur rencana melebihi 100 tahun, seperti Tugu Monas, Monumen Garuda Wisnu Kencana, jembatan-jembatan besar, dan lain-lain.
2. Bangunan permanen, umumnya adalah bangunan gedung, jembatan, jalan raya dan jalan kereta api, dan memiliki umur rencana 50 tahun.
3. Bangunan sementara, umur rencana bangunan kurang dari 25 tahun.

Faktor-faktor lain kemudian ditentukan berdasarkan tingkat pengendaliannya pada saat konstruksi.

- a. Pengendalian baik: kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi didasarkan pada program penyelidikan geoteknik yang tepat dan profesional, terdapat informasi uji pembebanan di dekat lokasi proyek dan pengawasan konstruksi dilaksanakan secara ketat (Tabel 2.11).
- b. Pengendalian normal: Situasi yang paling umum, hampir serupa dengan kondisi diatas, tetapi kondisi tanah bervariasi dan tidak tersedia data pengujian tanah (Tabel 2.11).
- c. Pengendalian kurang: Tidak ada uji pembebanan, kondisi tanah sulit dan bervariasi, tetapi pengujian geoteknik dilakukan dengan baik (Tabel 2.11).
- d. Pengendalian buruk: Kondisi tanah amat buruk dan sukar ditentukan, penyelidikan geoteknik tidak memadai (Tabel 2.11).

Tabel 2.11: Faktor keamanan untuk pondasi tiang (Reese and O'Neil, 1999).

Klasifikasi struktur bangunan	Bangunan monumental	Bangunan permanen	Bangunan sementara
Pengendalian baik	2.3	2.0	1.4
Pengendalian normal	3.0	2.5	2.0
Pengendalian kurang	3.5	2.8	2.3
Pengendalian buruk	4.0	3.4	2.8

2.8. Penurunan Elastis Tiang Tunggal

Untuk tiang dengan penurunan Elastis (*Immediate/Elastic Settlement*) penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan, dan terjadi pada volume konstan. Termasuk penurunan pada tanah-tanah berbutir kasar dan tanah-tanah berbutir halus yang tidak jenuh, karena penurunan terjadi segera setelah terjadi penerapan beban.

Persamaan penurunan segera atau penurunan elastis dari pondasi yang diasumsikan terletak pada tanah yang homogen, elastis dan isotropis pada media semi tak terhingga, dinyatakan dengan Pers. 2.14.

Penurunan tiang tunggal akibat beban yang bekerja vertical

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.14)$$

Dimana :

S = Penurunan total

S_1 = Penurunan batang tiang

S_2 = Penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

S_3 = Penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

Menentukan S_1 sesuai Pers. 2.15

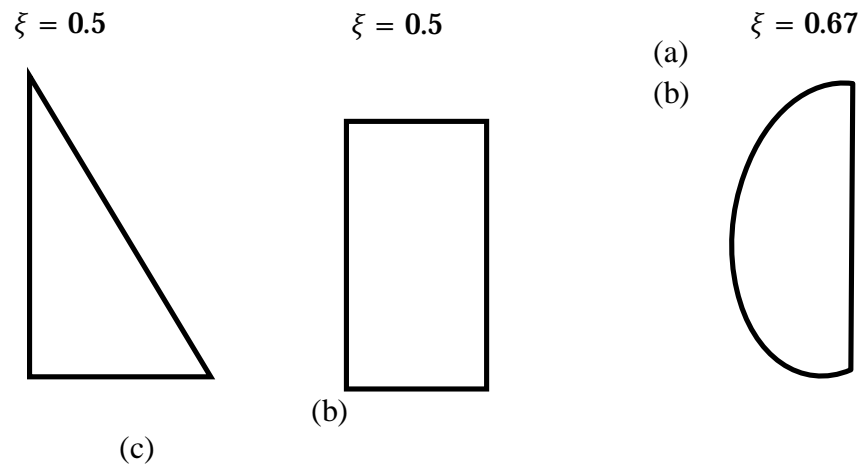
$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (2.15)$$

Dimana :

S = Penurunan elastis dari tiang (mm)

Q_{wp} = Daya dukung pada ujung tiang dikurangi daya dukung *friction* (kN)

- Q_{ws} = Daya dukung *friction* (kN)
 A_p = Luas penampang tiang pancang (m^2)
 L = Panjang tiang pancang (m)
 E_p = Modulus elastisitas dari bahan tiang (kN/m^2)
 ξ = Koefisien dari *skin friction*, (Gambar 2.12 b)



Gambar 2.12: Variasi jenis bentuk unit tahanan friksi (kulit) alami terdistribusi sepanjang tiang tertanam ke dalam tanah (Das, 2007).

Menentukan S_2 sesuai Pers. 2.16 dan 2.17

$$S_2 = \frac{(q_{wp} D)}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (2.16)$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p} \quad (2.17)$$

Dimana:

q_{wp} : Beban titik per satuan luas ujung tiang

Q_{ws} : Beban yang dipikul selimut tiang akibat beban kerja

D : Lebar atau diameter tiang

I_{wp} : Faktor pengaruh

E_b : Modulus elastisitas dasar tanah sesuai Pers. 2.17

Menentukan S_3 sesuai Pers. 2.18

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{PL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (2.18)$$

Dimana:

p : Keliling tiang

L : Panjang tiang yang tertanam

I_{ws} : Faktor pengaruh sesuai Pers.2.19

$\frac{Q_{ws}}{PL}$: nilai rata-rata friksi sepanjang tiang

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (2.19)$$

Tabel 2.12: Nilai umum modulus elastisitas tanah (Das, 1995).

TYPE	E_s (kN/m ²)
Coarse and medium coarse sand	
Louse	25.000 - 35000
Medium dense	30000 - 40000
dense	40000 - 45000
Sandy silt	
loose	8000 - 12000
Medium dense	10000 - 12000
Dense	12000 – 15000

Karena sifat tanah yang berbeda beda untuk mendapatkan nilai E_s (nilai modulus elastisitas pada tanah) berdasarkan kedalaman atau dengan mengguakan data SPT, maka dapat di rumuskan sesuai Pers. 2.20.

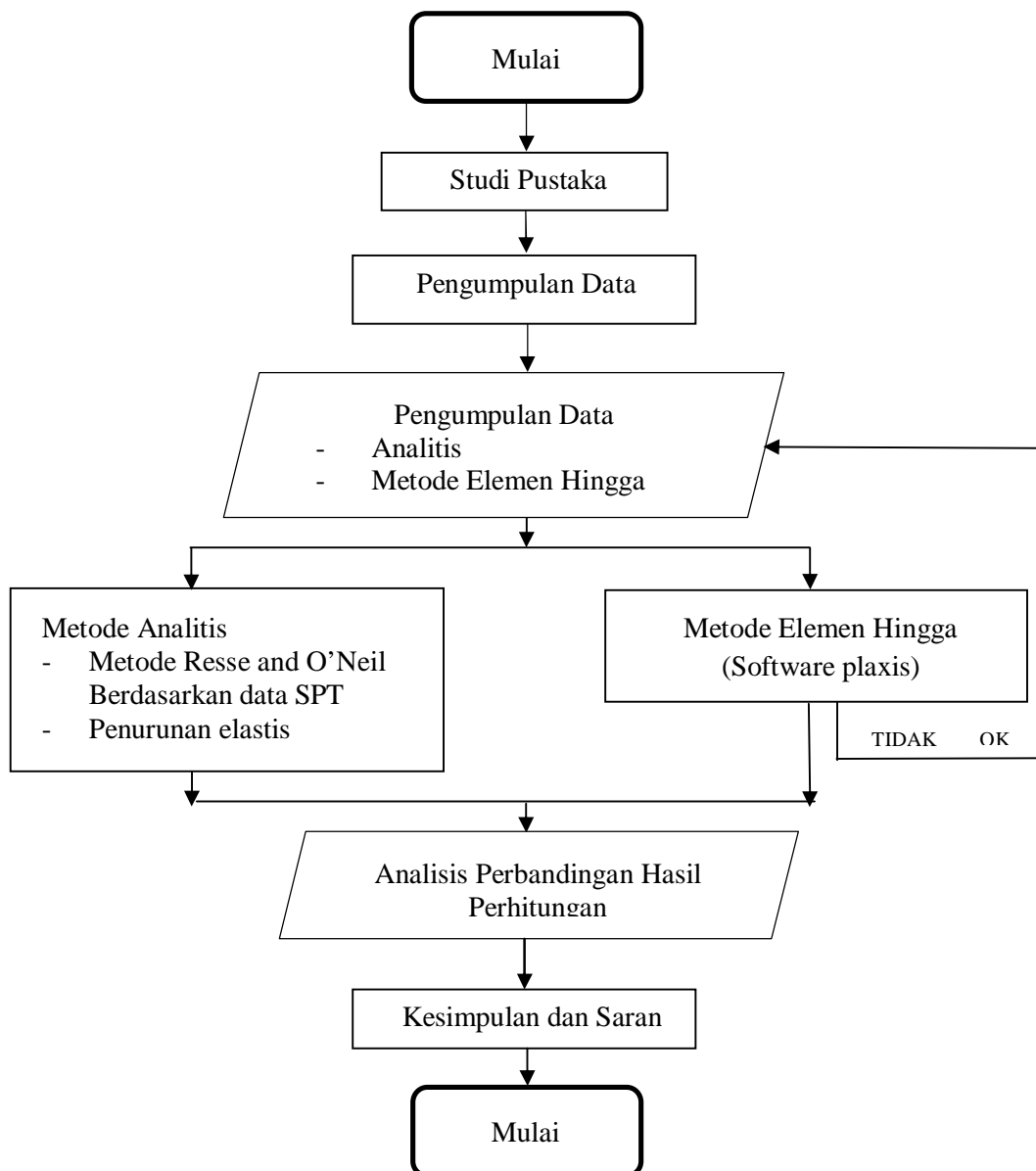
$$E_s = 2,5 \cdot q_c \text{ kN/m}^2 \quad (2.20)$$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini dilakukan secara sistematis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian

3.1. Data Umum Proyek

Data umum dari proyek Pembangunan Fly Over Simpang Pos Medan Sumatera Utara adalah sebagai berikut:

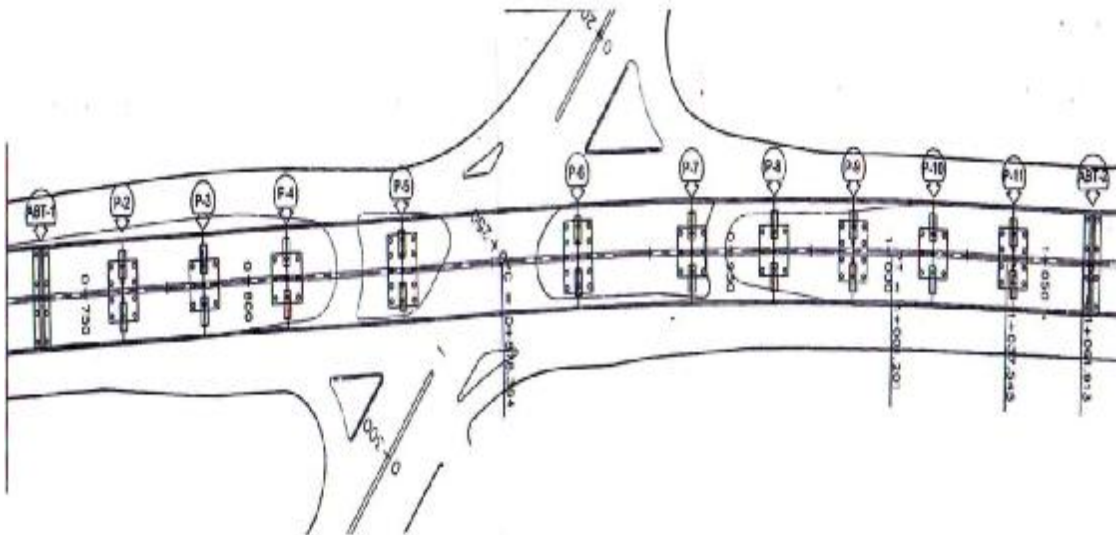
- a. Nama Proyek : Pembangunan Fly Over Simpang Pos
- b. Lokasi Proyek : Simpang Pos Medan
- c. Kontraktor Pelaksana : PT. Hutama Karya (Persero)
- d. Denah lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2: Denah lokasi proyek pembangunan Fly over Simpang pos Medan.

3.2. Lokasi titik pengeboran

Data yang diperoleh dari pihak kontraktor, penulis memilih 5 titik pengeboran yaitu di lokasi Fly Over Simpang Pos Medan dan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Lokasi titik pengeboran BH-1 dan BH-5.

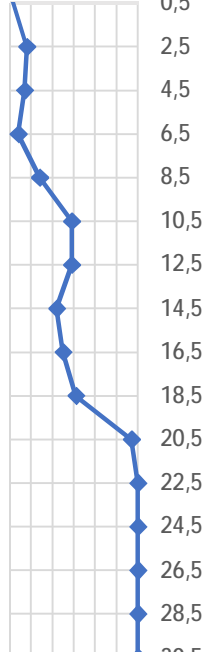
3.3. Pengumpulan data

Data yang digunakan pada tugas akhir ini, keseluruhannya merupakan data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi data tanah yang merupakan hasil dari pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) .

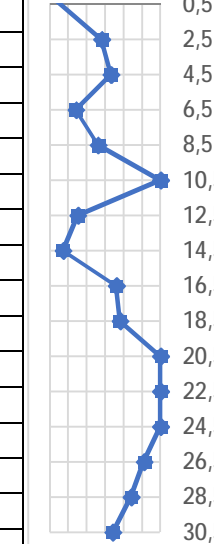
3.4. Analisis Data Tanah

Data propertis material dalam penelitian ini adalah data Sekunder yang diperoleh dari pihak kontraktor yang menangani pekerjaan pembangunan Fly Over Simpang Pos Medan. Data lapangan yang dimaksud ialah data uji penetrasi standar (SPT) sedalam 30 m (Tabel 3.1 - 3.5), yang terletak dalam kawasan pembangunan.

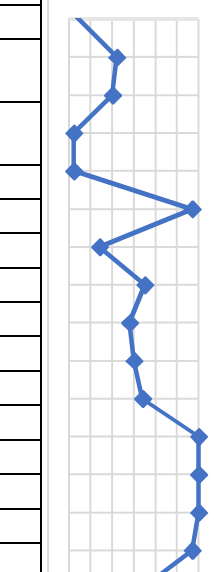
Tabel 3.1: Data uji lapangan *standard penetration Test* (SPT) pada BH-1.

Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value Graph
		No of Blows			N Value	
		0-15	15-30	30-45		
0					0	
2.5	Pasir Halus	3	4	4	8	
4.5	Pasir Halus	2	3	4	7	
6.5	Pasir Berlanau	1	2	2	4	
8.5	Pasir Berlanau	2	5	9	14	
10.5	Lempung	10	16	13	29	
12.5	Pasir Berlanau Halus	8	12	17	29	
14.5	Pasir Berlanau Halus	13	9	13	22	
16.5	Pasir Berlanau Halus	11	12	13	25	
18.5	Pasir Tupa	12	13	18	31	
20.5	Pasir Tupa	19	23	34	57	
22.5	Pasir Tupa	31	51	9	60	
24.5	Pasir Tupa	34	57	3	60	
26.5	Pasir Tupa	18	30	30	60	
28.5	Pasir Tupa	25	33	27	60	
30.5	Pasir Tupa	27	35	25	60	

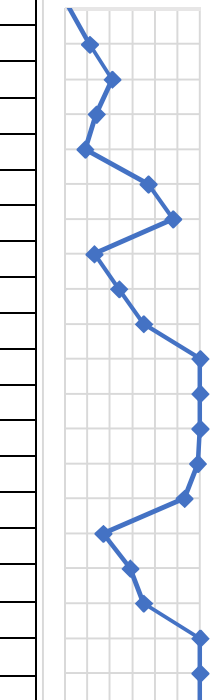
Tabel 3.2: Data uji lapangan *standard penetration Test* (SPT) pada BH-2.

Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value Graph
		No of Blows			N Value	
		0-15	15-30	30-45		
0		0	0	0	0	
2.5	Pasir Bergravel	9	11	17	28	
4.5	Lanau Pasir	11	15	18	33	
6.5	Lanau Pasir	4	6	8	14	
8.5	Pasir Halus Berlanau	4	11	15	26	
10.5	Pasir Tupa	13	22	38	60	
12.5	Pasir Tupa	3	5	10	15	
14.5	Pasir Halus Berlanau	2	2	5	7	
16.5	Pasir Lanau	8	15	20	35	
18.5	Pasir lanau	10	17	21	38	
20.5	Pasir Halus Berlanau	30	41	19	60	
22.5	Pasir Sedang	27	38	22	60	
24.5	Pasir Sedang	24	34	26	60	
26.5	Pasir Halus	20	23	28	51	
28.5	Pasir Tupa	15	19	25	44	
30.5	Pasir Tupa	12	17	17	34	

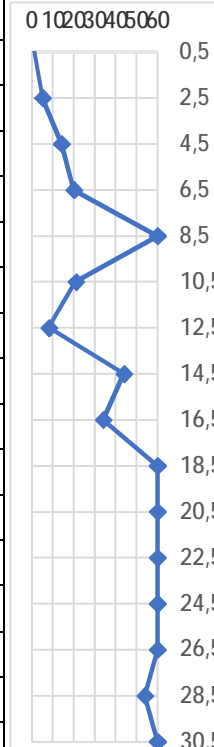
Tabel 3.3: Data uji lapangan *standard penetration Test* (SPT) pada BH-3.

Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value Graph
		No of Blows			N Value	
		0-15	15-30	30-45		
0		0	0	0	0	
2.5	Lempung Pasir Berbatuan	9	9	13	22	
4.5	Lempung Pasir Berbatuan	7	7	13	20	
6.5	Lanau Berpasir Halus	1	1	1	2	
8.5	Lanau Berpasir Halus	1	1	1	2	
10.5	Pasir Tupa	19	22	35	57	
12.5	Pasir Halus Ke Sedang	5	7	7	14	
14.5	Pasir Halus Ke Sedang	9	16	19	35	
16.5	Pasir Halus Ke Sedang	9	11	17	28	
18.5	Pasir Halus Ke Sedang	11	13	17	30	
20.5	Pasir Halus Ke Sedang	12	14	20	34	
22.5	Pasir Tupa	20	32	28	60	
24.5	Pasir Tupa	22	35	25	60	
26.5	Pasir Tupa	20	33	27	60	
28.5	Pasir Tupa	19	27	30	57	
30.5	Pasir Tupa	10	16	18	34	

Tabel 3.4: Data uji lapangan *standard penetration Test* (SPT) pada BH-4.

Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value Graph
		No of Blows			N Value	
		0-15	15-30	30-45		
0		0	0	0	0	
2.5	Lanau Berpasir Halus	3	5	6	11	
4.5	Pasir Halus Berlanau	9	9	12	21	
6.5	Pasir Halus Berlanau	4	7	7	14	
8.5	Lempung Berpasir	1	3	6	9	
10.5	Pasir Halus Berlanau	9	15	22	37	
12.5	Pasir Halus Berlanau	15	20	28	48	
14.5	Pasir Tupa	1	3	10	13	
16.5	Pasir Tupa	8	14	10	24	
18.5	Lanau Berpasir Halus	11	16	19	35	
20.5	Lanau Berpasir Halus	30	45	15	60	
22.5	Pasir Halus Sedang	36	48	12	60	
24.5	Pasir Halus Sedang	41	60	0	60	
26.5	Pasir Tupa	21	26	33	59	
28.5	Pasir Tupa	19	23	30	53	
30.5	Pasir Tupa	8	8	9	17	
32.5	Pasir Halus Berlanau	8	11	18	29	
34.5	Pasir Halus Berlanau	16	14	21	35	
36.5	Pasir Tupa	39	50	10	60	
38.5	Pasir Tupa	41	60	0	60	
40.5	Pasir Tupa	41	38	22	60	

Tabel 3.5: Data uji lapangan *standard penetration Test* (SPT) pada BH-5.

Depth	Jenis Tanah	Standart Penetration Test (SPT)				N Value Graph
		No of Blows			N Value	
		0-15	15-30	30-45		
0		0	0	0	0	
2.5	Lempung Pasir	2	2	3	5	
4.5	Lempung Pasir	5	6	8	14	
6.5	Lanau Berpasir Halus	4	7	13	20	
8.5	Lanau Berpasir Halus	16	31	29	60	
10.5	Pasir Tupa	8	9	12	21	
12.5	Pasir Halus Ke Sedang	2	3	5	8	
14.5	Pasir Halus Ke Sedang	12	20	24	44	
16.5	Pasir Halus Ke Sedang	10	16	18	34	
18.5	Pasir Halus Ke Sedang	19	28	32	60	
20.5	Pasir Halus Ke Sedang	24	35	25	60	
22.5	Pasir Tupa	26	38	22	60	
24.5	Pasir Tupa	23	33	27	60	
26.5	Pasir Tupa	18	29	31	60	
28.5	Pasir Tupa	16	24	30	54	
30.5	Pasir Tupa	20	32	28	60	

3.5. Analisis Parameter Tanah

Metode yang digunakan pada pemodelan ini adalah *Mohr Coulomb*. Pada model ini diasumsikan perilaku tanah bersifat plastis sempurna. Adapun parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan ini yaitu, Modulus Young E (*stiffness modulus*), *Poisson's ratio* (ν), sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), sudut dilatasi (Ψ) berat isi tanah (γ).

Parameter tanah dari hasil uji SPT dan laboratorium ini di ambil dari penyelidikan tanah yang dilaksanakan oleh PT. Waskita Karya (persero). Karena keterbatasan data, maka sebagian parameter tanah pada lapisan tertentu ditentukan berdasarkan korelasikan nilai N-SPT dan juga jenis tanah pada lapisan.

- Untuk koefisien rembesan (k_x , k_y) diambil dari nilai koefisien *permeabilitas* tanah pada berbagai jenis tanah tercantum pada Tabel 2.7.

- b. Untuk modulus elastisitas (E) diambil dari nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4, yaitu dengan cara mengkorelasikan nilai SPT dan konsistensi tanah terhadap modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas di konversikan kedalam satuan kN/m^2 .
- c. Untuk angka poisson (ν), diambil dari hubungan jenis tanah, konsistensi dan poisson ratio (ν) yaitu pada Tabel 2.5.
- d. Untuk sudut geser dalam (ϕ) nilai diambil dari Tabel 2.4 dengan cara mengkorelasikan nilai N-SPT.
- e. Berat isi tanah kering (γ_{dry}) diambil dari Tabel 2.6 yaitu korelasi antara jenis tanah dengan berat isi tanah kering.
- f. Berat isi tanah jenuh (γ_{sat}) dihitung dengan Pers. 2.13 yaitu menjumlahkan nilai berat isi kering (γ_{dry}) dengan 9.8.
- g. Untuk nilai kohesi (c) diperoleh dari percobaan laboratorium yang dilakukan oleh pihak kontraktor.
- h. Sudut Dilatasi diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.14.

Tabel 3.6: Parameter Tanah BH - 1

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak ke sedang	Sedang ke padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	14.50	16	17	16	18	18	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	24.3	25.8	26.8	25.8	27.8	25.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.15741E-09	1.15741E-09	1.15741E-13	1.15741E-09	1.15741E-09	1.15741E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.15741E-09	1.15741E-09	1.15741E-13	1.15741E-09	1.15741E-09	1.15741E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	5309,0	21994.3	16685.3	42264.9	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.25	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	-
10	Kohesi	c	7.84	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	29	35.7	33.6	41.56	41	41	°
12	sudut dilatansi	ψ	0	5.7	3.6	11	11	11	°

Tabel 3.7: Parameter Tanah BH-2.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lunak	Lunak	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	16	18	14.5	16	18	18	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	25.8	27.8	21.3	25.8	27.8	27.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.15741E-10	1.15741E-09	1.15741E-10	1.15741E-09	1.15741E-09	1.15741E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.15741E-10	1.15741E-09	1.15741E-10	1.1541E-09	1.15741E-09	1.150E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	25028	44126.5	5309	44126.5	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.25	0.35	0.30	0.25	0.25	0.25	-
10	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	36.75	41	29	41	41	41	°
12	sudut dilatansi	ψ	6.75	11	0	11	11	11	°

Tabel 3.8: Parameter Tanah BH-3.

No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	padat	Sangat padat	Padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	16	16	14.50	18	18	18	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	25,8	25,8	24,3	27.8	27,8	27.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.15741E-10	1.15741E-10	1.15741E-09	1.15741E-09	1.15741E-07	1.15741E-07	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.15741E-10	1.15741E-10	1.15741E-09	1.15741E-09	1.15741E-07	1.15741E-07	m/hari
8	Modulus Young	E	15168,5	41644,4	25786,4	25786,4	44126.5	44126.5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.30	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	-
10	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	33	41	37	37	42	41	°
12	sudut dilatansi	ψ	3	11	7	7	12	12	°

Tabel 3.9: Parameter Tanah BH-4.

No.	Parameter	simbol	Lapisan							satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	Lap 7	
1	Konsistensi	-	lepas	Sedang padat	Padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	16	16	18	18	18	18	16	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	25.8	25.8	27.8	27.8	27.8	27.8	25.8	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1,15741E-10	1,15741E-9	1,15741E-09	1,15741E-09	1,15741E-09	1,15741E-09	1,15741E-09	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1,15741E-10	1,15741E-9	1,15741E-09	1,15741E-09	1,15741E-09	1,15741E-09	1,15741E-09	m/hari
8	Modulus Young	E	15926.9	25786,4	10617,9	42885,4	44126,5	26544,8	44126,5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.25	0.35	0.25	0.25	0.30	0.25	0.30	-
10	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	33.30	37	31,20	41	41	37,25	41	°
12	sudut dilatasi	ψ	3.30	7	1,20	11	11	7,25	11	°

Tabel 3.10: Parameter Tanah BH-5.

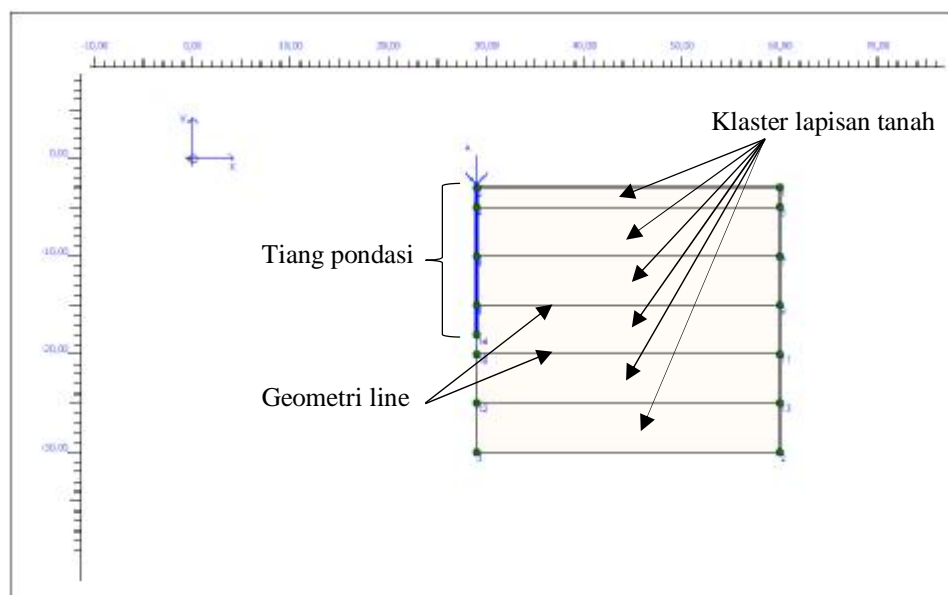
No.	Parameter	simbol	Lapisan						satuan
			Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	Lap 6	
1	Konsistensi	-	Lepas	Sedang padat	Padat	Sedang	Sangat padat	Sangat padat	-
2	Model material	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
3	Jenis perilaku	-	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	Terdrainase	-
4	Berat isi tanah di atas garis freatik	γ_{dry}	16	16	14,5	16	16	14.50	kN/m ³
5	Berat isi tanah di bawah garis freatik	γ_{sat}	25,8	25,8	24,3	24,3	24.3	24.3	kN/m ³
6	Permeabilitas arah horizontal	K_x	1.15741E-09	1.15741E-07	1.15741E-09	1.15741E-08	1.15741E-08	1.15741E-08	m/hari
7	Permeabilitas arah vertical	K_y	1.15741E-09	1.15741E-07	1.15741E-09	1.15741E-08	1.15741E-08	1.15741E-08	m/hari
8	Modulus Young	E	11376,4	15926,9	33370,6	44126,5	44126,5	44126,5	kN/m ²
9	Angka Poisson	ν	0.25	0.30	0.30	0.25	0.25	0.35	-
10	Kohesi	c	1	1	1	1	1	1	kN/m ²
11	sudut geser dalam	ϕ	31,50	33,3	41	41	41	41	°
12	sudut dilatansi	ψ	1.5	3,3	11	11	11	11	°

3.7. Menghitung Daya Dukung Dengan Metode Elemen Hingga

Perhitungan daya dukung dan penurunan dengan metode elemen hingga menggunakan bantuan program analisis, yang menggunakan data parameter tanah.

3.7.1. Pemodelan Geometri

Pembuatan sebuah model elemen hingga dimulai dengan pembuatan geometrik dari model, yang merupakan gambaran dari masalah yang ingin dianalisis. Pada penelitian ini dimodelkan klaster dengan tinggi kontur geometrik adalah $2L$ dimana L merupakan kedalaman tiang sebesar 15 m, sedangkan untuk lebar kontur geometrik menggunakan *aximetry* 30 m (Gambar 3.4). Setelah pemodelan klaser lapisan tanah, selanjutnya yaitu pemodelan struktur tiang pondasi.

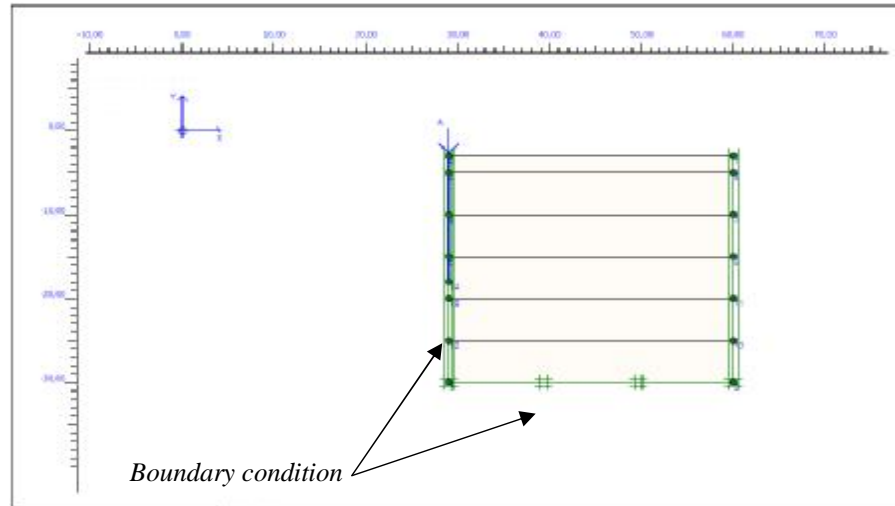


Gambar 3.4: Pemodelan geometri pada program analisis.

3.7.2. Kondisi Batas (*Boundary Conditon*)

Dengan mengklik tombol standar fixities pada toolbar, plaxis kemudian akan membentuk jepit penuh pada dasar geometri dan kondisi rol pada sisi vertikal ($u_x = 0$; $u_y = \text{bebas}$). Jepit pada arah tertentu akan ditampilkan pada layar berupa dua garis paralel yang tegak lurus terhadap arah yang dijepit. Karena itu rol akan

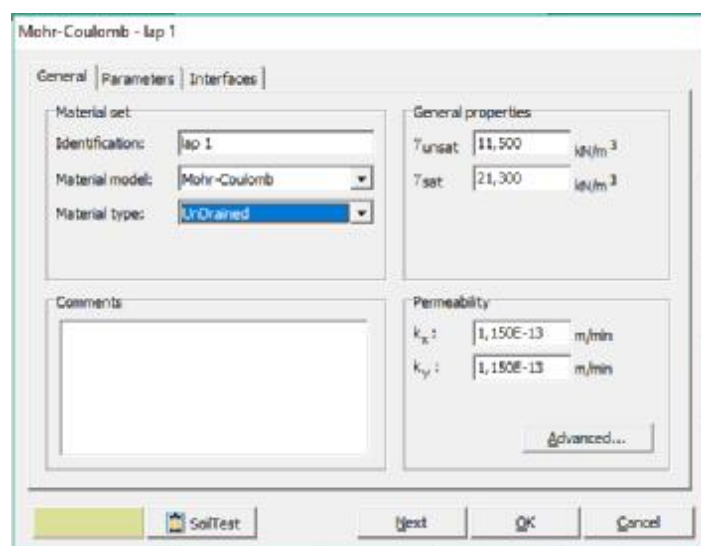
berupa dua garis vertikal sejajar dan jepit penuh akan berupa dua pasang garis vertikal sejajar yang bersilangan (Bakker dkk, 2007) (Gambar 3.5).



Gambar 3.5: Penetapan kondisi batas pada geometri.

3.7.3. Input Parameter Tanah

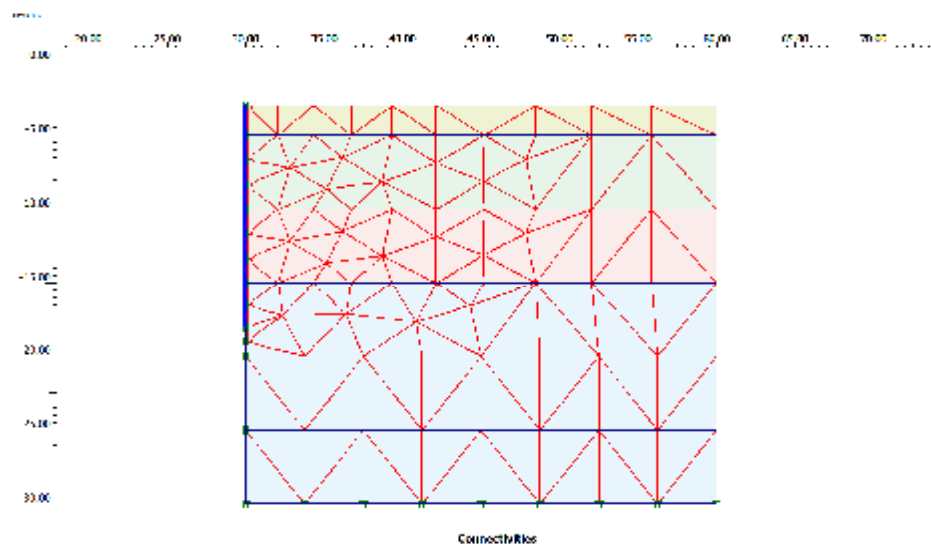
Parameter material *Mohr-Coulomb* yang merupakan pemodelan dengan kondisi elastis-plastis terdiri dari beberapa parameter (Gambar 3.6) yakni *Modulus Young* (E) dan *Poisson Rasio* (ν), kohesif (c), sudut gesek dalam (ϕ), sudut dilatansi (ψ), berat jenis kering (γ_{dry}), berat jenis jenuh (γ_{sat}), dan juga permeabilitas (K).



Gambar 3.6: Input parameter tanah dan pemodelan Mohr-coulomb.

3.7.4. Penyusunan Jaring Elemen (*Meshing*)

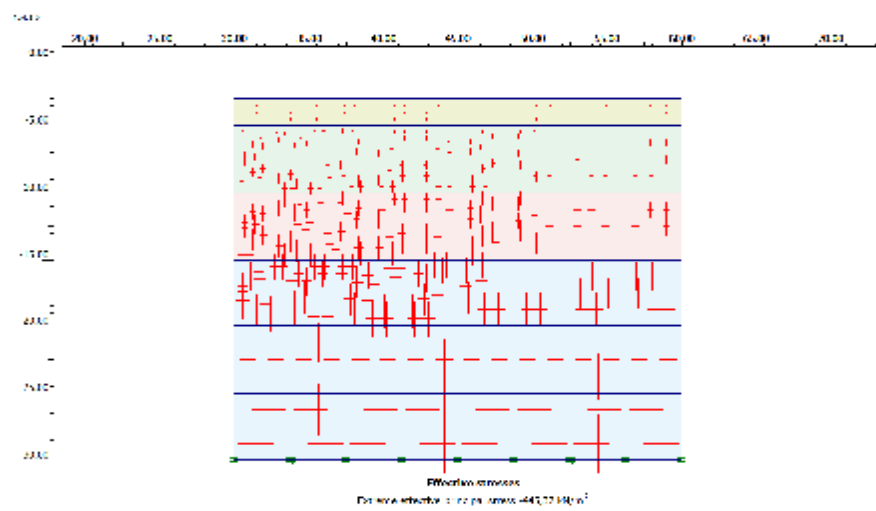
Geometri disusun menjadi jaring elemen yang lebih kecil untuk melakukan hitungan. Hasil dari proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut:



Gambar 3.7: Penyusunan jaring Mesh.

3.7.5. Kondisi Awal (*Initial Condition*)

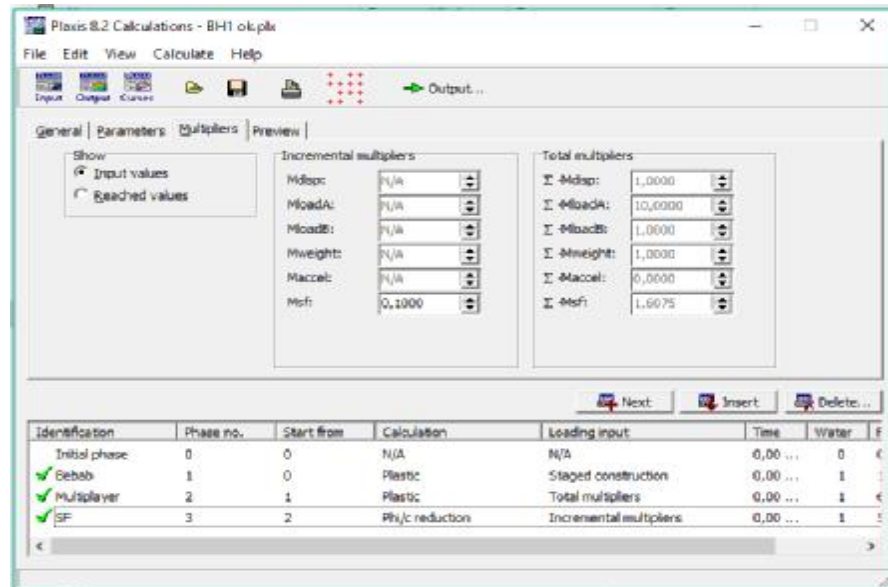
Kondisi awal didefinisikan untuk menghitung tekanan air pori awal (*initial condition*) dan tegangan awal (*initial soil stresses*) seperti Gambar 3.8.



Gambar 3.8: Hasil perhitungan *initial soil stresses*.

3.7.6. Kalkulasi

Selanjutnya adalah proses kalkulasi dengan mengklik tombol *calculate* untuk masuk ke dalam program *calculation* seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9: Tahapan perhitungan.

Adapun gambaran umum mengenai tahapan perhitungan beban aksial pada model geometri adalah sebagai berikut:

- Tahapan awal yaitu mengaktifkan plate (tiang pondasi) pada model geometri.
- Setelah tiang aktif kemudian tahapan pengaktifan beban struktur atas.
- Tahap selanjutnya yaitu tahap Total *Multipliers* (pengalihan jumlah beban).
- Tahap akhir ialah tahap SF dengan memilih *Phi/c reduction*, dimana pada tahapan ini dilakukan perhitungan faktor keamanan.
- Kemudian mengaktifkan titik beban pada ujung tiang bagian atas lalu klik *update*.
- Kemudian klik *calculate* untuk memulai proses kalkulasi.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data N SPT

Menghitung kapasitas daya dukung dengan menggunakan data SPT dilakukan per lapisan tanah serta perhitungannya menggunakan metode Resse and O'Neil, (1999), Perhitungan ini menggunakan dua rumus yakni untuk jenis tanah non kohesif (pasir) dan jenis tanah kohesif (lempung).

4.1.1. Perhitungan Pada Titik BH-1

Diameter (D) = **100 cm = 1 m**

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot D$$

$$p = 1,0 \times 3,14$$

$$= 3,14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2$$

Faktor keamanan (SF)

$$\text{Ujung} = 2,5$$

$$\text{Geser} = 2$$

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah kohesif

▼ Kedalaman **10,5 m**

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u$$

$$A_p = 0,785$$

$$N_c = 9$$

$$C_u = 193,7$$

$$Q_b = 0,785 \times 9 \times 193,7$$

$$= 1368,8 \text{ kN}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\alpha = 0,51$$

$$C_u = 193,7$$

$$Q_s = 0,55 \times 44,89 \times 3,14 \times 2$$

$$= 98,8 \text{ kN}$$

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \text{ (komulatif)}$$

$$= 1368,8 + 2033,7$$

$$= 3402,5 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF}$$

$$= \frac{1368,8}{2} + \frac{2033,7}{2}$$

$$= 1701,2 \text{ kN}$$

$$= 170,1 \text{ ton}$$

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah non kohesif

▼ Kedalaman **14,5 m**

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = q_p \cdot a_p$$

$$q_p = 57,5 \cdot N = 57,5 \times 22 = 1265$$

$$a_p = 0,785$$

$$Q_b = 1265 \times 0,785$$

$$= 993,02 \text{ kN}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L$$

$$f = \beta \cdot \sigma = 0,571 \times 183,5 = 104,77$$

$$= 104,77 \times 3,14 \times 2$$

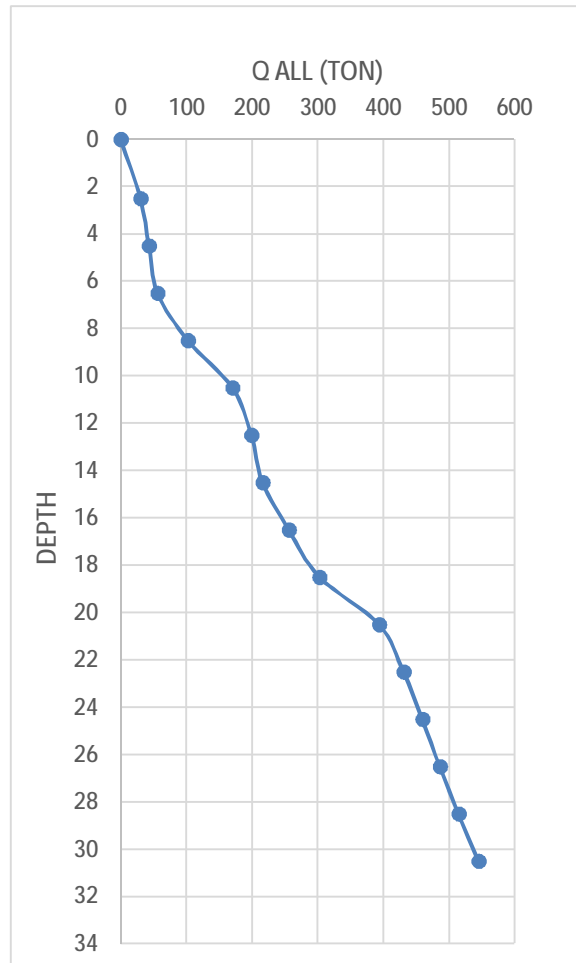
$$= 658,012$$

$$\begin{aligned}
Q_{ult} &= Q_b + Q_s \text{ (komulatif)} \\
&= 993,02 + 3329,7 \\
&= 4322,8 \text{ kN} \\
Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
&= \frac{993,02}{2} + \frac{3329,7}{2} \\
&= 2161,4 \text{ kN} \\
&= 216,1 \text{ ton}
\end{aligned}$$

Untuk perhitungan lengkapnya dan grafik daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1: Perhitungan daya dukung metode Resse and O'Neil, (1999) pada BH-1.

No	z (m)	N _{spt}	Clay or Sand?	ΣQ _s	ΣQ _b	ΣQ _s + ΣQ _b	Q _{all}	Q _{all}
							kN	Ton
1	0	0.00					0	0.00
2	2.5	8.00	Clay	240.49	361.10	601.59	300.79	30.08
3	4.5	7.00	Clay	545.75	315.96	861.71	430.86	43.09
4	6.5	4.00	Sand	939.99	180.55	1120.54	560.27	56.03
5	8.5	14.00	Sand	1413.19	631.93	2045.11	1022.56	102.26
6	10.5	29.00	Sand	2033.72	1368.81	3402.52	1701.26	170.13
7	12.5	22.00	Sand	2671.78	1308.99	3980.76	1990.38	199.04
8	14.5	25.00	Sand	3329.79	993.03	4322.81	2161.41	216.14
9	16.5	31.00	Sand	3993.07	1128.44	5121.51	2560.75	256.08
10	18.5	57.00	Sand	4654.41	1399.26	6053.67	3026.84	302.68
11	20.5	60.00	Sand	5298.13	2572.84	7870.97	3935.48	393.55
12	22.5	60.00	Sand	5913.11	2708.25	8621.36	4310.68	431.07
13	24.5	60.00	Sand	6484.33	2708.25	9192.58	4596.29	459.63
14	26.5	60.00	Sand	7014.20	2708.25	9722.45	4861.23	486.12
15	28.5	60.00	Sand	7584.90	2708.25	10293.15	5146.57	514.66
16	30.5	60.00	Sand	8196.41	2708.25	10904.66	5452.33	545.23



Gambar 4.1: Grafik daya dukung Reese and O'Neil, (1999) pada BH 1.

4.1.2. Perhitungan Pada Titik BH-2

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot D$$

$$p = 1 \times 3,14$$

$$= 3,14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2$$

Faktor keamanan (SF)

Ujung = 2

Geser = 2

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah non kohesif

✓ Kedalaman 2,5 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = q_p \cdot A_p$$

$$q_p = 57,5 \cdot N = 57,5 \times 28 = 1610$$

$$A_p = 0,785$$

$$\begin{aligned} Q_b &= 1610 \times 0,785 \\ &= 1263,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\begin{aligned} f &= \beta \cdot \sigma = 1,114 \times 30 = 33,42 \\ &= 33,42 \times 3,14 \times 2 \\ &= 262,34 \end{aligned}$$

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \text{ (komulatif)}$$

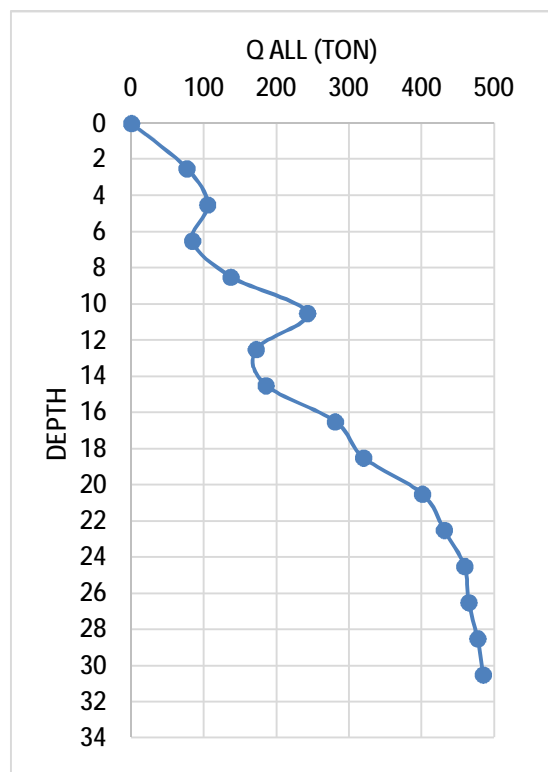
$$\begin{aligned} &= 1263,8 + 262,35 \\ &= 1526,19 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{1263,8}{2} + \frac{262,3}{2} \\ &= 763,09 \text{ kN} \\ &= 76,31 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lengkapnya dan grafik daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.2: Perhitungan daya dukung metode Resse and O'Neil, (1999) pada BH-2.

No	z (m)	Nspt	Clay or Sand?	ΣQ_s	ΣQ_b	$\Sigma Q_s + \Sigma Q_b$	Qall (kN)	Qall (Ton)
1	0	0					0	0.00
2	2.5	28	Sand	262.35	1263.85	1526.20	763.10	76.31
3	4.5	33	Sand	607.70	1489.54	2097.24	1048.62	104.86
4	6.5	14	Sand	1048.80	631.93	1680.73	840.36	84.04
5	8.5	26	Sand	1564.12	1173.58	2737.69	1368.85	136.88
6	10.5	60	Sand	2142.94	2708.25	4851.19	2425.60	242.56
7	12.5	15	Sand	2759.00	677.06	3436.06	1718.03	171.80
8	14.5	7	Sand	3390.11	315.96	3706.08	1853.04	185.30
9	16.5	35	Sand	4035.81	1579.81	5615.62	2807.81	280.78
10	18.5	38	Sand	4681.57	1715.23	6396.80	3198.40	319.84
11	20.5	60	Sand	5311.64	2708.25	8019.89	4009.95	400.99
12	22.5	60	Sand	5914.77	2708.25	8623.02	4311.51	431.15
13	24.5	60	Sand	6475.91	2708.25	9184.16	4592.08	459.21
14	26.5	51	Sand	6997.15	2302.01	9299.16	4649.58	464.96
15	28.5	44	Sand	7559.21	1986.05	9545.26	4772.63	477.26
16	30.5	34	Sand	8162.09	1534.68	9696.76	4848.38	484.84



Gambar 4.2: Grafik daya dukung Resse and O'Neil, (1999) pada BH-2.

4.1.3. Perhitungan Pada Titik BH-3

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot D$$

$$p = 1 \times 3,14 \\ = 3,14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ = 0,785 \text{ m}^2$$

Faktor keamanan (SF)

$$\text{Ujung} = 2$$

$$\text{Geser} = 2$$

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah kohesif

▼ Kedalaman 4,5m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u$$

$$N_c = 9$$

$$C_u = 132,8$$

$$Q_b = 0,785 \times 9 \times 132,8 \\ = 938,5 \text{ kN}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 132,8$$

$$Q_s = 0,55 \times 132,8 \times 3,14 \times 2 \\ = 458,69 \text{ kN}$$

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \text{ (komulatif)}$$

$$= 938,59 + 1090,8$$

$$= 2029,4 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
 &= \frac{938,59}{2} + \frac{1090,8}{2} \\
 &= 1014,7 \text{ kN} \\
 &= 101,4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah non kohesif

✓ Kedalaman 12,5 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned}
 Q_b &= q_p \cdot AP \\
 q_p &= 57,5 \times N = 57,5 \times 14 = 805 \\
 AP &= 0,785 \\
 Q_b &= 805 \times 0,785 \\
 &= 631,9 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \sum f \cdot p \cdot \Delta L \\
 f &= \beta \cdot \sigma = 0,637 \times 184 = 117,2 \\
 &= 117,2 \times 3,14 \times 2 \\
 &= 736,08
 \end{aligned}$$

$Q_{ult} = Q_b + Q_s$ (komulatif)

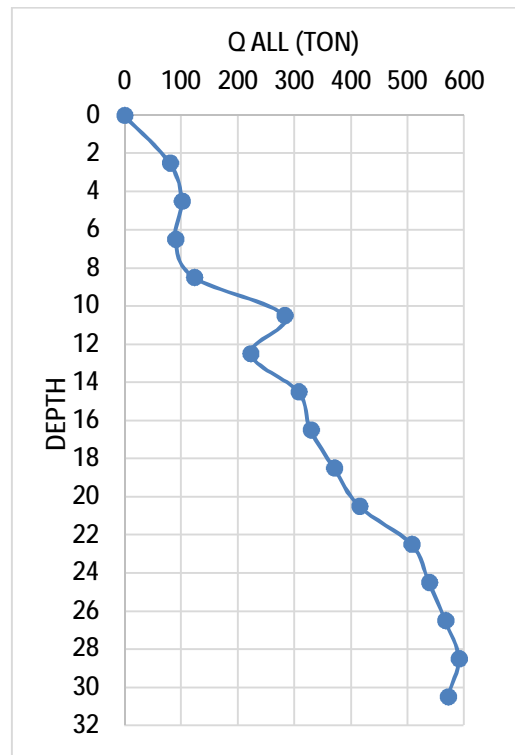
$$\begin{aligned}
 &= 631,9 + 3820,9 \\
 &= 4452,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
 &= \frac{631,9}{2} + \frac{3820,9}{2} \\
 &= 2226,4 \text{ kN} \\
 &= 222,6 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lengkapnya dan grafik daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.3: Perhitungan daya dukung metode Resse and O'Neil, (1999) pada BH-3.

No	z (m)	Nspt	Clay or Sand?	ΣQ_s	ΣQ_b	$\Sigma Q_s + \Sigma Q_b$	Qall (kN)	Qall (Ton)
1	0	0					0	0.00
2	2.5	22	Sand	632.01	976.74	1608.75	804.38	80.44
3	4.5	20	Sand	1090.88	938.59	2029.47	1014.74	101.47
4	6.5	2	Sand	1708.46	90.28	1798.74	899.37	89.94
5	8.5	2	Sand	2372.44	90.28	2462.72	1231.36	123.14
6	10.5	57	Sand	3084.84	2572.84	5657.68	2828.84	282.88
7	12.5	14	Sand	3820.92	631.93	4452.85	2226.43	222.64
8	14.5	35	Sand	4573.95	1579.81	6153.76	3076.88	307.69
9	16.5	28	Sand	5321.96	1263.85	6585.81	3292.91	329.29
10	18.5	30	Sand	6058.35	1354.13	7412.48	3706.24	370.62
11	20.5	34	Sand	6767.80	1534.68	8302.48	4151.24	415.12
12	22.5	60	Sand	7439.89	2708.25	10148.14	5074.07	507.41
13	24.5	60	Sand	8059.73	2708.25	10767.98	5383.99	538.40
14	26.5	60	Sand	8631.21	2708.25	11339.46	5669.73	566.97
15	28.5	57	Sand	9243.51	2572.84	11816.35	5908.18	590.82
16	30.5	34	Sand	9896.63	1534.68	11431.31	5715.66	571.57



Gambar 4.3: Grafik daya dukung Resse and O'Neil, (1999) pada BH-3.

4.1.4. Perhitungan Pada Titik BH-4

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot D$$

$$p = 1 \times 3,14$$

$$= 3,14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2$$

Faktor keamanan (SF)

$$\text{Ujung} = 2$$

$$\text{Geser} = 2$$

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah kohesif

✓ Kedalaman 8,5m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u$$

$$N_c = 9$$

$$C_u = 58,4$$

$$Q_b = 0,785 \times 9 \times 58,4 = 412,7 \text{ kN}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 58,4$$

$$Q_s = 0,55 \times 58,4 \times 3,14 \times 2$$

$$= 201,8 \text{ kN}$$

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \text{ (komulatif)}$$

$$= 412,7 + 1227,25$$

$$= 1640,01 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
 &= \frac{412,7}{2} + \frac{1227,25}{2} \\
 &= 820,009 \text{ kN} \\
 &= 82,001 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah non kohesif

✓ Kedalaman **14,5 m**

1. Daya dukung ujung tiang

$$\begin{aligned}
 Q_b &= q_p \cdot AP \\
 q_p &= 57,5 \times N = 57,5 \times 13 = 747,5 \\
 AP &= 0,785 \\
 Q_b &= 747,5 \times 0,785 \\
 &= 586,7 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \sum f \cdot p \cdot \Delta L \\
 f &= \beta \cdot \sigma = 0,571 \times 194 = 110,7 \\
 &= 110,7 \times 3,14 \times 2 \\
 &= 695,6
 \end{aligned}$$

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \text{ (komulatif)}$$

$$= 586,7 + 3244,13$$

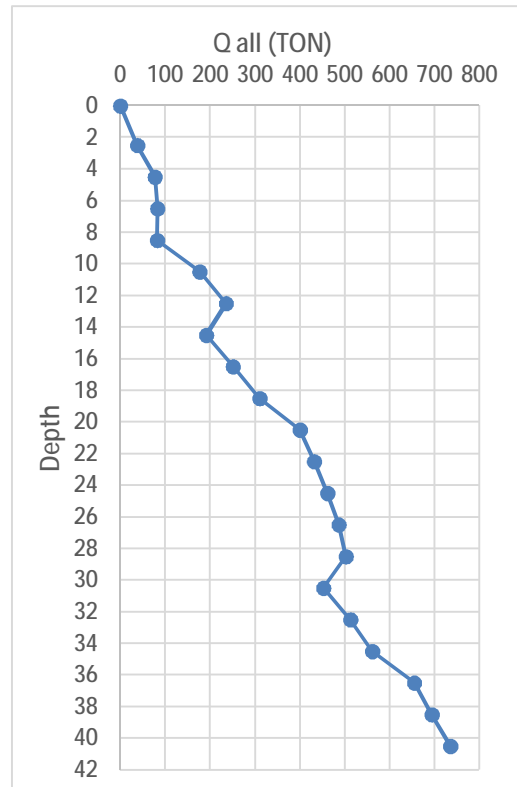
$$= 3830,9 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
 &= \frac{586,7}{2} + \frac{3244,13}{2} \\
 &= 1915,4 \text{ kN} = 191,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lengkapnya dan grafik daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.4: Perhitungan daya dukung metode Resse and O'Neil, (1999) pada BH-4.

No	z (m)	Nspt	Clay or Sand?	ΣQ_s	ΣQ_b	$\Sigma Q_s + \Sigma Q_b$	Qall (kN)	Qall (Ton)
1	0	0					0	0.00
2	2.5	11	Sand	262.35	496.5	758.9	379.4	37.9
3	4.5	21	Sand	595.36	947.9	1543.3	771.6	77.2
4	6.5	14	Sand	1025.44	631.9	1657.4	828.7	82.9
5	8.5	9	Clay	1227.25	412.8	1640.0	820.0	82.0
6	10.5	37	Sand	1868.41	1670.1	3538.5	1769.2	176.9
7	12.5	48	Sand	2548.47	2166.6	4715.1	2357.5	235.8
8	14.5	13	Sand	3244.13	586.8	3830.9	1915.5	191.5
9	16.5	24	Sand	3940.97	1083.3	5024.3	2512.1	251.2
10	18.5	35	Sand	4632.05	1579.8	6211.9	3105.9	310.6
11	20.5	60	Sand	5301.81	2708.3	8010.1	4005.0	400.5
12	22.5	60	Sand	5939.41	2708.3	8647.7	4323.8	432.4
13	24.5	60	Sand	6529.88	2708.3	9238.1	4619.1	461.9
14	26.5	59	Sand	7076.24	2663.1	9739.3	4869.7	487.0
15	28.5	53	Sand	7663.42	2392.3	10055.7	5027.9	502.8
16	30.5	17	Sand	8288.28	767.3	9055.6	4527.8	452.8
17	32.5	29	Sand	8950.82	1309.0	10259.8	5129.9	513.0
18	34.5	35	Sand	9654.18	1579.8	11234.0	5617.0	561.7
19	36.5	60	Sand	10398.36	2708.3	13106.6	6553.3	655.3
20	38.5	60	Sand	11183.36	2708.3	13891.6	6945.8	694.6
21	40.5	60	Sand	12009.18	2708.3	14717.4	7358.7	735.9



Gambar 4.4: Grafik daya dukung Resse and O'Neil, (1999) pada BH-4.

4.1.5. Perhitungan Pada Titik BH-5

Diameter (D) = 100 cm = 1 m

Luas selimut tiang pondasi (p)

$$p = \pi \cdot D$$

$$p = 1 \times 3,14$$

$$= 3,14 \text{ m}$$

Luas penampang tiang pondasi (Ap)

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2$$

Faktor keamanan (SF)

$$\text{Ujung} = 2$$

$$\text{Geser} = 2$$

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah kohesif

▼ Kedalaman 4,5m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u$$

$$N_c = 9$$

$$C_u = 92,25$$

$$\begin{aligned} Q_b &= 0,785 \times 9 \times 92,25 \\ &= 651,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\alpha = 0,55$$

$$C_u = 92,25$$

$$\begin{aligned} Q_s &= 0,55 \times 92,25 \times 3,14 \times 2 \\ &= 318,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \text{ (komulatif)}$$

$$= 651,7 + 454,05$$

$$= 1105,83 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\ &= \frac{651,7}{2} + \frac{454,05}{2} \\ &= 552,32 \text{ kN} \\ &= 55,29 \text{ ton} \end{aligned}$$

Ø Daya dukung ujung tiang dan geser selimut tiang pada tanah non kohesif

▼ Kedalaman 12,5 m

1. Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = q_p \cdot A_p$$

$$q_p = 57,5 \times N = 57,5 \times 14 = 460$$

$$A_p = 0,785$$

$$\begin{aligned} Q_b &= 460 \times 0,785 \\ &= 361,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Daya dukung geser selimut tiang

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L$$

$$\begin{aligned}
 f &= \beta \cdot \sigma = 0,637 \times 183,5 = 116,89 \\
 &= 116,89 \times 3,14 \times 2 \\
 &= 734,06
 \end{aligned}$$

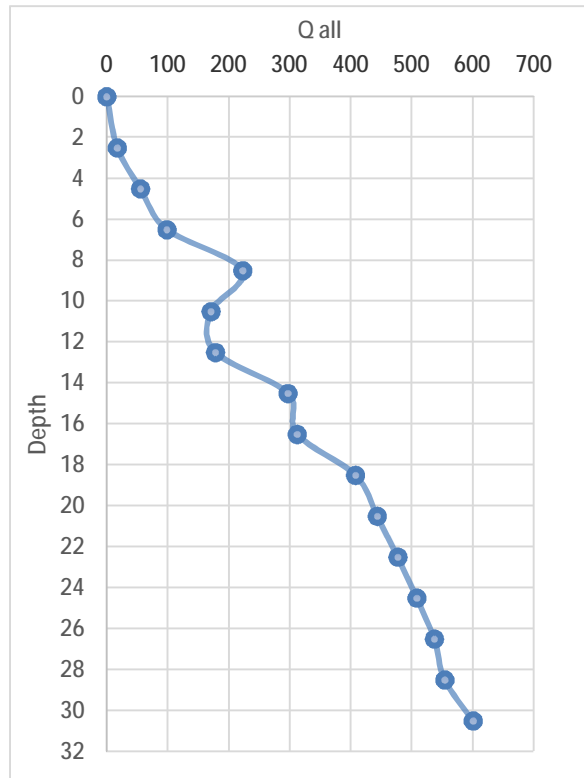
$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_b + Q_s \text{ (komulatif)} \\
 &= 361,1 + 3203,3 \\
 &= 3564,40 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \\
 &= \frac{361,1}{2} + \frac{3202,3}{2} \\
 &= 1782,2 \text{ kN} \\
 &= 178,2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan lengkapnya dan grafik daya dukung dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.5: Perhitungan daya dukung metode Resse and O'Neil, (1999) pada BH-5.

No	z (m)	Nspt	Clay or Sand?	ΣQ_s	ΣQ_b	$\Sigma Q_s + \Sigma Q_b$	Qall (kN)	Qall (Ton)
1	0	0					0	0.00
2	2.5	5	clay	135.4	209.3	344.7	172.3	17.2
3	4.5	14	clay	454.1	651.8	1105.8	552.9	55.3
4	6.5	20	Sand	1068.8	902.8	1971.6	985.8	98.6
5	8.5	60	Sand	1750.2	2708.3	4458.4	2229.2	222.9
6	10.5	21	Sand	2469.2	947.9	3417.1	1708.6	170.9
7	12.5	8	Sand	3203.3	361.1	3564.4	1782.2	178.2
8	14.5	44	Sand	3954.5	1986.1	5940.6	2970.3	297.0
9	16.5	34	Sand	4707.3	1534.7	6242.0	3121.0	312.1
10	18.5	60	Sand	5448.0	2708.3	8156.2	4078.1	407.8
11	20.5	60	Sand	6161.2	2708.3	8869.4	4434.7	443.5
12	22.5	60	Sand	6836.4	2708.3	9544.7	4772.3	477.2
13	24.5	60	Sand	7459.0	2708.3	10167.3	5083.6	508.4
14	26.5	60	Sand	8032.8	2708.3	10741.1	5370.5	537.1
15	28.5	54	Sand	8647.5	2437.4	11084.9	5542.5	554.2
16	30.5	60	Sand	9303.0	2708.3	12011.2	6005.6	600.6



Gambar 4.5: Grafik daya dukung Resse and O'Neil, (1999) pada BH-5.

4.2. Perhitungan Penurunan elastis (*Settlement*)

4.2.1. Penurunan Pada Titik BH-1

✓ Menentukan S_1 sesuai kedalaman 18 m

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$E_p = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa} = 2,57 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Q_{wp} &= \text{ujung tiang } (Q_p) - \text{selimut tiang } (Q_s) \\ &= 1399,2 - 4654,4 = 6053,6 \end{aligned}$$

$$Q_{ws} = Q_s = 4654,4$$

$$\xi = 0.5 \text{ (gambar 2.12 b)}$$

$$L = 18$$

$$S_1 = \frac{(6053,6 + 0,5 \cdot 4654,4) \cdot 18,5}{0,785 \cdot 2,6 \times 10^7} = 0,000978 \text{ m} = 0,978 \text{ mm}$$

▼ Menentukan S2 sesuai kedalaman 18 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{(q_{wp} D)}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$\begin{aligned} Q_{wp} &= \text{ujung tiang } (Q_p) - \text{selimut tiang } (Q_s) \\ &= 1399,3 - 661,3 = 737,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{wp} = \frac{737,9}{0,785} = 940,03$$

$$E_s = 2,5 \cdot qc$$

$$qc = 4 \times N \text{ spt} = 4 \times 31 = 124 \text{ kg/m}^2 = 12152 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 12152 = 30380 \text{ kN/m}^2$$

$$E_b = 10 \cdot E_s$$

$$E_b = 10 \cdot 30380 = 303800 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{wp} = 0,85$$

$$\mu = 0,3$$

$$S_2 = \frac{(940,03 \cdot 1)}{303800} (1 - 0,3) \cdot 0,85 = 0,002308 \text{ m} = 2,308 \text{ mm}$$

▼ Menentukan S3 sesuai kedalaman 18 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{PL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{ws} = Q_s = 661,3$$

$$\begin{aligned}
P &= \pi \cdot D \\
&= 3,14 \cdot 1 = 3,14 \\
E_s &= 2,5 \cdot 12152 = 303800 \text{ kN/m}^2 \\
I_{ws} &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \\
I_{ws} &= 2 + 0,3 \sqrt{\frac{18,5}{1}} = 3,51 \\
S_3 &= \left(\frac{661,3}{3,14 \cdot 18,5} \right) \frac{1}{303800} (1 - 0,3) 3,51 \\
&= 0,001153 \text{ m} = 1,153 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Jadi penurunan total tiang tunggal akibat beban vertical yang bekerja adalah:

$$\begin{aligned}
S &= S_1 + S_2 + S_3 \\
S &= 0,978 + 2,308 + 1,153 = 4,439 \text{ mm}
\end{aligned}$$

4.2.2. Penurunan Pada Titik BH-2

▼ Menentukan S1 sesuai kedalaman 18,5 m

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

$$\begin{aligned}
A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\
&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\
&= 0,785 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$E_p = 4700\sqrt{30} = 25742,96 = 2,57 \times 10^7 \text{ kn}$$

$$\begin{aligned}
Q_{wp} &= \text{ujung tiang } (Q_p) - \text{selimut tiang } (Q_s) \\
&= 1715,2 - 645,8 = 1069,5
\end{aligned}$$

$$Q_{ws} = Q_s = 645,8$$

$$\xi = 0,5 \text{ (gambar 2.12 b)}$$

$$L = 18,5$$

$$S_1 = \frac{(1069,5 + 0,5 \cdot 645,8) \cdot 18,5}{0,785 \cdot 2,57 \times 10^7} = 0,001275 \text{ m} = 1,275 \text{ mm}$$

- ▼ Menentukan S2 sesuai kedalaman 18,5 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{(q_{wp} D)}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$\begin{aligned} Q_{wp} &= \text{ujung tiang } (Q_p) - \text{selimut tiang } (Q_s) \\ &= 1715,2 - 645,8 = 1069,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{wp} = \frac{1069,5}{0,785} = 1362,38$$

$$E_s = 2,5 \cdot q_c$$

$$q_c = 4 \times N_{spt} = 4 \times 38 = 152 \text{ kg/m}^2 = 14896 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 14896 = 37240 \text{ kN/m}^2$$

$$E_b = 10 \cdot E_s$$

$$E_b = 10 \cdot 37240 = 372400 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{wp} = 0,85$$

$$\mu = 0,3$$

$$S_2 = \frac{(1069,5 \cdot 1)}{37240} (1 - 0,3) \cdot 0,85 = 0,002729 \text{ m} = 4,922 \text{ mm}$$

- ▼ Menentukan S3 sesuai kedalaman 18 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{P_L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{ws} = Q_s = 677,5$$

$$\begin{aligned} P &= \pi \cdot D \\ &= 3,14 \cdot 1 = 3,14 \end{aligned}$$

$$E_s = 2,5 \cdot q_c$$

$$q_c = 4 \times N_{spt} = 4 \times 38 = 152 \text{ kg/m}^2 = 14896 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 14896 = 37240 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{18,5}{1}}$$

$$= 3,27$$

$$S_3 = \left(\frac{645,8}{3,14 \cdot 18,5} \right) \frac{1}{37240} (1 - 0.3) 3,51$$

$$= 0,000918 \text{ m} = 0,918 \text{ mm}$$

Jadi penurunan total tiang tunggal akibat beban vertical yang bekerja adalah:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$S = 1.275 + 2,729 + 0,918 = 4.922 \text{ mm}$$

4.2.3. Penurunan Pada Titik BH-3

▼ Menentukan S1 sesuai kedalaman 18 m

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2$$

$$E_p = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa} = 2,57 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$Q_{wp} = \text{ujung tiang (Q}_p) - \text{selimut tiang (Q}_s)$$

$$= 1354,1 - 736,4 = 617,7$$

$$Q_{ws} = Q_s = 736,4$$

$$\xi = 0.5 \text{ (gambar 2.12 b)}$$

$$L = 18,5$$

$$S_1 = \frac{(617,7 + 0.5 \cdot 736,4) \cdot 18,5}{0,785 \cdot 2,6 \times 10^7} = 0,000903 \text{ m} = 0.903 \text{ mm}$$

- ▼ Menentukan S2 sesuai kedalaman 18 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{(q_{wp} D)}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$\begin{aligned} Q_{wp} &= \text{ujung tiang } (Q_p) - \text{selimut tiang } (Q_s) \\ &= 1353,1 - 736,4 = 617,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{wp} = \frac{617,7}{0,785} = 786,9$$

$$E_s = 2,5 \cdot qc$$

$$qc = 4 \times N \text{ spt} = 4 \times 30 = 120 \text{ kg/m}^2 = 11760 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 11760 = 29400 \text{ kN/m}^2$$

$$E_b = 10 \cdot E_s$$

$$E_b = 10 \cdot 29400 = 294000 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{wp} = 0,85$$

$$\mu = 0,3$$

$$S_2 = \frac{(786,9 \cdot 1)}{294000} (1 - 0,3) \cdot 0,85 = 0,001996 \text{ m} = 1,996 \text{ mm}$$

- ▼ Menentukan S3 sesuai kedalaman 18 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{PL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{ws} = Q_s = 736,4$$

$$\begin{aligned} P &= \pi \cdot D \\ &= 3,14 \cdot 1 = 3,14 \end{aligned}$$

$$E_s = 2,5 \cdot qc$$

$$qc = 4 \times N \text{ spt} = 4 \times 30 = 120 \text{ kg/m}^2 = 11760 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 11760 = 29400 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{ws} = 2 + 0,3 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,3 \sqrt{\frac{18,5}{1}} \\ = 3,51$$

$$S_3 = \left(\frac{870,2}{3,14 \cdot 18} \right) \frac{1}{29400} (1 - 0,3) 3,51 \\ = 0,001326 \text{ m} = 1,326 \text{ mm}$$

Jadi penurunan total tiang tunggal akibat beban vertical yang bekerja adalah:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$S = 0,903 + 1,996 + 1,326 = 4,225 \text{ mm}$$

4.2.4. Penurunan Pada Titik BH-4

▼ Menentukan S1 sesuai kedalaman 18 m

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ = 0,785 \text{ m}^2$$

$$E_p = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa} = 2,57 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$Q_{wp} = \text{ujung tiang (} Q_p \text{)} - \text{selimut tiang (} Q_s \text{)} \\ = 1579,8 - 691,1 = 888,7$$

$$Q_{ws} = Q_s = 691,1$$

$$\xi = 0,5 \text{ (gambar 2.12 b)}$$

$$L = 18,5$$

$$S_1 = \frac{(888,7 + 0,5 \cdot 691,1) \cdot 18,5}{0,785 \cdot 2,57 \times 10^7} = 0,001130 \text{ m} = 1,130 \text{ mm}$$

- ▼ Menentukan S2 sesuai kedalaman 18,5 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{(q_{wp} D)}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$\begin{aligned} Q_{wp} &= \text{ujung tiang } (Q_p) - \text{selimut tiang } (Q_s) \\ &= 1579,8 - 691,1 = 888,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{wp} = \frac{888,7}{0,785} = 1132,15$$

$$E_s = 2,5 \cdot qc$$

$$qc = 4 \times N \text{ spt} = 4 \times 35 = 140 \text{ kg/m}^2 = 13720 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 13720 = 34300 \text{ kN/m}^2$$

$$E_b = 10 \cdot E_s$$

$$E_b = 10 \cdot 34300 = 343000 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{wp} = 0,85$$

$$\mu = 0,3$$

$$S_2 = \frac{(1132,15 \cdot 1)}{343000} (1 - 0,3) \cdot 0,85 = 0,002462 \text{ m} = 2,462 \text{ mm}$$

- ▼ Menentukan S3 sesuai kedalaman 18 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{PL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{ws} = Q_s = 691,1$$

$$\begin{aligned} P &= \pi \cdot D \\ &= 3,14 \cdot 1 = 3,14 \end{aligned}$$

$$E_s = 2,5 \cdot qc$$

$$qc = 4 \times N \text{ spt} = 4 \times 35 = 140 \text{ kg/m}^2 = 13720 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 13720 = 34300 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{ws} = 2 + 0,3 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,3 \sqrt{\frac{18,5}{1}} \\ = 3,51$$

$$S_3 = \left(\frac{691,1}{3,14 \cdot 18,5} \right) \frac{1}{34300} (1 - 0,3) 3,51 \\ = 0,001067 \text{ m} = 1,067 \text{ mm}$$

Jadi penurunan total tiang tunggal akibat beban vertical yang bekerja adalah:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$S = 1,130 + 2,462 + 1,067 = 4,659 \text{ mm}$$

4.2.5. Penurunan Pada Titik BH-5

▼ Menentukan S1 sesuai kedalaman 18,5 m

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ = 0,785 \text{ m}^2$$

$$E_p = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa} = 2,57 \times 10^7 \text{ kN}$$

$$Q_{wp} = \text{ujung tiang (} Q_p \text{)} - \text{selimut tiang (} Q_s \text{)} \\ = 2708,3 - 740,6 = 1967,6$$

$$Q_{ws} = Q_s = 740,6$$

$$\xi = 0,5 \text{ (gambar 2.12 b)}$$

$$L = 18,5$$

$$S_1 = \frac{(1967,6 + 0,5 \cdot 740,6) \cdot 18,5}{0,785 \cdot 2,57 \times 10^7} = 0,002140 \text{ m} = 2,140 \text{ mm}$$

- ✓ Menentukan S2 sesuai kedalaman 18 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{(q_{wp} D)}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$\begin{aligned} Q_{wp} &= \text{ujung tiang } (Q_p) - \text{selimut tiang } (Q_s) \\ &= 2708,3 - 740,6 = 1967,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{wp} = \frac{1967,6}{0,785} = 2506,5$$

$$E_s = 2,5 \cdot qc$$

$$qc = 4 \times N \text{ spt} = 4 \times 60 = 240 \text{ kg/m}^2 = 23520 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 23520 = 58800 \text{ kN/m}^2$$

$$E_b = 10 \cdot E_s$$

$$E_b = 10 \cdot 58800 = 588000 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{wp} = 0,85$$

$$\mu = 0,3$$

$$S_2 = \frac{(2506,5 \cdot 1)}{588000} (1 - 0,3) \cdot 0,85 = 0,003179 \text{ m} = 3,179 \text{ mm}$$

- ✓ Menentukan S3 sesuai kedalaman 18 m.

$$\text{Diameter (D)} = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{P L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$Q_{ws} = Q_s = 740,6$$

$$\begin{aligned} P &= \pi \cdot D \\ &= 3,14 \cdot 1 = 3,14 \end{aligned}$$

$$E_s = 2,5 \cdot qc$$

$$qc = 4 \times N \text{ spt} = 4 \times 60 = 240 \text{ kg/m}^2 = 23520 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 2,5 \cdot 23520 = 58800 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{ws} = 2 + 0.3 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

$$I_{ws} = 2 + 0.3 \sqrt{\frac{18,5}{1}}$$

$$= 3,51$$

$$S_3 = \left(\frac{740,6}{3,14 \cdot 18,5} \right) \frac{1}{23520} (1 - 0.3) 3,51$$

$$= 0,000667 \text{ m} = 0,667 \text{ mm}$$

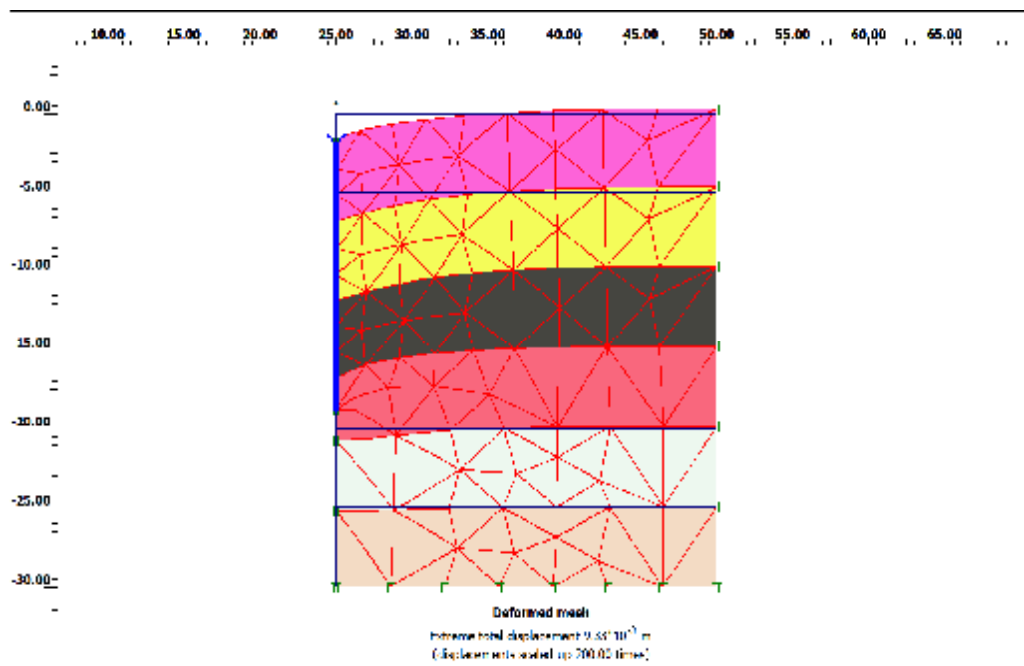
Jadi penurunan total tiang tunggal akibat beban vertical yang bekerja adalah:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

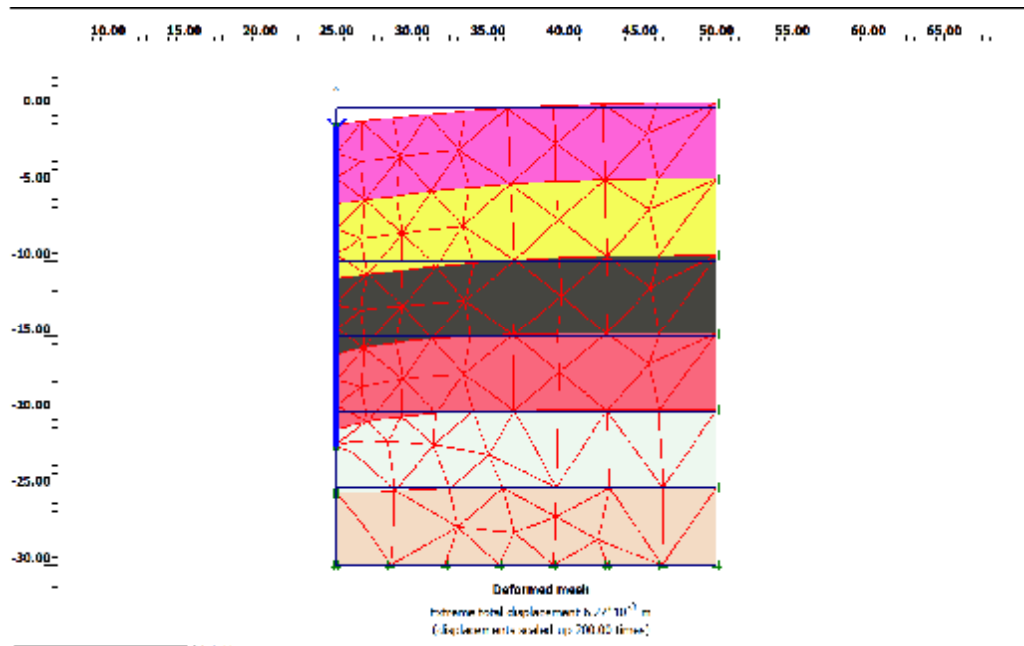
$$S = 2,140 + 3,179 + 0,667 = 5,987 \text{ mm}$$

4.3. Hasil Program Analisis

Setelah membuat geometri dan melakukan input parameter tanah, kemudian melakukan tahapan kalkulasi yang terdiri dari beberapa tahap atau proses. Setelah tahapan kalkulasi selesai maka akan didapat hasil *output* berupa gambar *visualisasi* dan grafik penurunan seperti Gambar 4.6 - 4.8.

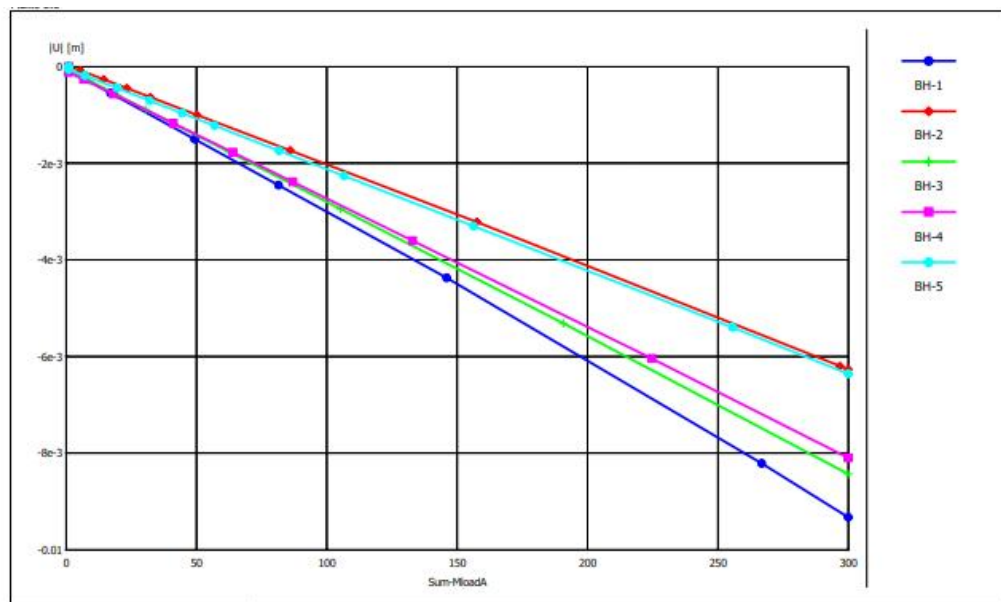


Gambar 4.6: Penurunan pada titik BH-1.



Gambar 4.7: Penurunan pada titik BH-2.

Untuk gambar penurunan titik BH-3 sampai titik BH-5 dapat dilihat dalam halaman lampiran.



Gambar 4.8: Kurva perbandingan penurunan antara titik BH-1 sampai titik BH-5 menggunakan program analisis.

Dari hasil perhitungan titik BH-1 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 4198.085 kN/m² maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 4198.085 \times 0.785 = 3295.496 \text{ kN} = 329.5 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar: 9,33 mm

Dari hasil perhitungan titik BH-2 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 4590.273 kN/m² maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 4590.273 \times 0.785 = 3603.36 \text{ kN} = 360.3 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar: 6,27 mm

Dari hasil perhitungan titik BH-3 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 4226.473 kN/m² maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 4226.473 \times 0.785 = 3317.78 \text{ kN} = 331.7 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar: 8,43 mm

Dari hasil perhitungan titik BH-4 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 5426.193 kN/m² maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 5426.193 \times 0.785 = 4259.56 \text{ kN} = 425.9 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar: 8,11 mm

Dari hasil perhitungan titik BH-5 dengan menggunakan program analisis di dapat nilai tegangan efektif sebesar 5129.729 kN/m² maka nilai Q_u adalah:

$$Q_u = \sigma \times A_p$$

$$Q_u = 5129.729 \times 0.785 = 4026.83 \text{ kN} = 402.6 \text{ ton}$$

Dengan penurunan sebesar: 6,36 mm

Perbandingan hasil perhitungan daya dukung dengan metode analitis dan dengan metode elemen hingga ditunjukkan dalam Tabel 4.6:

Tabel 4.6: Perbandingan daya dukung ultimate.

Titik	Panjang tiang (m)	Metode Resse and Oniel	Metode Elemen Hingga	Persentase
BH-1	18	302.7 ton	329.5 ton	8.13 %
BH-2	17	319.8 ton	360.3 ton	11.24 %
BH-3	14	370.6 ton	331.7 ton	11.72 %
BH-4	15	310.6 ton	425.9 ton	27.07 %
BH-5	15	407.8 ton	402.6 ton	1.29 %
Rata-rata				11.89 %

Berdasarkan perhitungan analitis dan dengan metode elemen hingga penurunan yang terjadi pada tiang di tunjukan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Perbandingan penurunan tiang.

Titik	Panjang tiang (m)	Penurunan elastis tiang	Penurunan Program analitis	Selisih (%)
BH-1	18	4.43 mm	9,33 mm	52.51 %
BH-2	17	4.92 mm	6.27 mm	21.53 %
BH-3	14	4.22 mm	8.43 mm	49.94 %
BH-4	15	4.62 mm	8.11 mm	43.03 %
BH-5	15	5.98 mm	6.36 mm	5.97 %

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis, dapat di ambil kesimpulan:

1. - Hasil perhitungan daya dukung pondasi *bored piled* dengan metode analitis (Resse and Oniel) pada kelima titik didapat rata-rata 342.3 ton.
 - Daya dukung pondasi *bored pile* dengan program analitis (*Plaxis*) didapat rata-rata 370 ton.
2. Setelah diakumulasikan ada selisih perbandingan antara metode analitis dan program analitis (*Plaxis*) adalah BH-1 = 8.13 % , BH-2 = 11.24 % , dan BH-3 = 11.72 % , BH 4 = 1.29 % , BH-5 = 11.89 %.
3. - Penurunan yang terjadi dengan menggunakan metode Penurunan Elastisitas pada kelima titik didapat nilai rata-rata 44.27 ton.
 - Penurunan pada perhitungan program analisis (*Plaxis*) pada kelima titik didapat nilai rata – rata 28.5 ton.
4. Maka selisih perbandingan antara penurunan elastis dan penurunan pada program (*Plaxis*) adalah BH-1 = 52.51 % , BH-2 = 21.51 % , dan BH-3 = 49.94 % , BH-4 = 43.03 % , BH-5 = 5.97 % . Sedangkan beban 329.5 ton BH-1 = 8.13 % , BH-2 = 11.24 % , BH-3 = 11.72 % , BH-4 = 27.07 % , BH-5 = 1.29 % .

5.2. Saran

Berdasarkan dari pengkajian hasil penelitian penulis juga bermaksud memberikan beberapa saran yang berkaitan dengan perencanaan pondasi mudah mudahan dapat bermanfaat bagi peneliti selanjutnya.

1. Untuk mendapatkan hasil perhitungan kapasitas daya dukung yang baik di perlukan ketelitian dalam menginput data SPT dan mempunyai kemampuan dasar mekanika tanah yang kuat.
2. Dalam merencanakan pondasi dengan menggunakan *software* palxis harus teliti dalam menginput data tanah seperti jenis tanah dan parameter tanah dan gunakan lisensi *software* yang asli untuk hasil yang maksimal.
3. Dalam perancangan dan pelaksanaan suatu pondasi kemungkinan besar akan di temui berbagai permasalahan yang kompleks yang berbeda antar kondisi tanah, sehingga seorang perencana , diharapkan memiliki "*feeling engineering*" yang di dukung oleh pengetahuan yang luas dan pengalaman yang di dapatkan di lapangan, hingga tercipta seorang *engineer* yang tanggap, tangguh dan menghasilkan karya yang baik dan berguna.

Demikian kesimpulan dan saran yang dapat penulis ambil dari Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas koreksi dan pemasukan dari pembaca, serta tak lupa penulis meminta maaf mengingat banyaknya keterbatasan dalam hal pengumpulan data, pengetahuan ataupun kesalahan pada perencanaan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering, SI*, Seventh, Edition
United States of America: Cengage Learning.
- Das, B. M. (2007) *Principles of Foundation Engineering*, Sixth Edition, North
America: Nelson.
- Das, B. M. (1995) *Mekanika Tanah (Prinsi-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 1,
Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1997) *Analisis Dan Desain Pondasi*, Edisi Keempat Jilid 1, Jakarta:
Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) *Mekanika Tanah I*, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah
Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2002) *Mekanika Tanah II*, Edisi Ketiga, Yogyakarta: Gajah
Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (1996) *Teknik Pondasi I*, Jakarta: PT.Gramedia Pustaka
Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2008) *Teknik Pondasi II*, Edisi Keempat, Jakarta:
PT.Gramedia Pustaka Utama.
- SNI 4153. (2008) *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT*.
- SNI 2827. (2008) *Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir*.
- Sosrodarsono, S. dan Nakazawa, K. (2000) *Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi*,
Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Poulos, H. G. dan Davis, E. H. (1980) *Pile Foundation Analysis And Design*,
Rainbow Bridge Book Co.
- Harianto, E. (2007) *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Menggunakan
Software Shaft1 Dan Uji Beban Statis (Studi Kasus Tiang Uji TP-4 Dan TP-5
Pada Proyek Grand Indonesia Di Jakarta)*. Tugas Akhir S1 Unniversitas
Katolik Soegijapranata.